

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.31

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов

«___» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Моніторинг ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря»

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ОН-91мп

_____ Карнажук Тетяна Русланівна

(прізвище, ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Бориченко О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент к.т.н., доц. Шовкалюк

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра електропостачання
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Карнажук Тетяні Русланівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Моніторинг ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря»
науковий керівник дисертації: к.т.н., доц. Бориченко О.В. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. №3199-с
2. Строк подання студентом дисертації: 14 грудня 2020 року
3. Об'єкт дослідження: процес планування, моніторингу та аналізу обсягів споживання енергії в системі стисненого повітря.
4. Предмет дослідження: методи та підходи до моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проведення аналізу існуючих методів оперативного контролю енерговикористання та моніторингу результатів впровадження заходів з енергоефективності; встановлення базового рівня енергоспоживання в системі стисненого повітря на основі багатofакторного регресійного аналізу, необхідної для встановлення базової лінії енергоспоживання в системі стисненого повітря; створення системи моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря;

розроблення стартап-проекту за результатами дослідження.

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація, діаграми, графіки споживання енергоресурсів, результатів розрахунків.

7.Орієнтовний перелік публікацій: Карнажук Т.Р., Бориченко О.В., Моніторинг ефективності впровадження енергозберігаючих заходів. XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина», 7-8 травня 2020, м. Київ;

Карнажук Т.Р., Бориченко О.В., Моніторинг ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря. III Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ, 26-27 листопада 2020, м. Київ.

8.Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9.Дата видачі завдання 31 травня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Аналіз існуючих методів моніторингу результатів впровадження заходів з енергоефективності	01.06.20-23.06.20	
2	Створення системи моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності	24.06.20-31.07.20	
3	Моніторинг ефективності впровадження заходів з енергоефективності системою стисненого повітря	01.08.20-31.09.20	
4	Розробка стартап проекту	16.11.20-25.11.20	
5	Оформлення дисертації	30. 10.20-10.12.20	
6.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	01. 12.20-10.12.20	
7.	Передзахист МД	10.12.20-14.12.20	
8.	Захист дисертації	17.12.20-22.12.20	

Студент

(підпис)

Т.Р. Карнажук

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

О.В. Бориченко

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку використаних літературних джерел. Повний обсяг дисертації містить 97 сторінок, 21 рисунок, 23 таблиці, 51 бібліографічне найменування за переліком посилань.

Актуальність теми. На сьогодні енергозбереження та енергоефективність є одними з актуальних і важливих проблем для сучасних підприємств, установ і компаній. Сучасні напрямки енергозбереження та енергоефективності включають в себе економію енергоресурсів і підвищення ефективності процесу виробництва. Високий рівень цих показників сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції промислового підприємства на світових ринках шляхом зменшення питомої вартості енергоносіїв на одиницю продукції і скорочення питомої плати за викиди парникових газів.

Однак на сьогоднішній день енергоемність української економіки вдвічі вище в порівнянні з аналогічними показниками світової економіки в цілому, оскільки величезна кількість тепла, води і електрики використовується неефективно і невиправдано. Тому необхідно усвідомити, що впровадження заходів з енергоефективності не тільки необхідно з екологічної точки зору, але також вигідно для всієї країни і конкретних споживачів.

Метою дослідження є створення системи моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні **завдання**:

- проведення аналізу існуючих методів оперативного контролю енерговикористання та моніторингу результатів впровадження заходів з енергоефективності;
- встановлення базового рівня енергоспоживання в системі стисненого повітря на основі багатофакторного регресійного аналізу, необхідної для встановлення базової лінії енергоспоживання в системі стисненого повітря;
- створення системи моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря.

- розроблення стартап-проекту за результатами дослідження.

Об'єкт дослідження: процес планування, моніторингу та аналізу обсягів споживання енергії в системі стисненого повітря.

Предметом дослідження є методи та підходи до моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності.

Наукова новизна. Удосконалено систему моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності, яка ґрунтується на використанні побудови контрольних карт Шухарта та графіків CUSUM із застосуванням V-масок, що дає можливість оперативно визначати моменти невідповідного зниження або підвищення ефективності енерговикористання.

Практичне значення. Отримані в дисертаційній роботі результати можуть використовуватися для планування енергоспоживання промислових об'єктів в Україні, оперативного і об'єктивного здійснення моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності та оцінювання ефективності їх впровадження.

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина» (м. Київ, 7-8 травня 2020 р.) та на III Науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (м. Київ, 26-27 листопада 2020 р.).

Публікації. Карнажук Т.Р., Бориченко О.В., Моніторинг ефективності впровадження енергозберігаючих заходів. XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина» 7-8 травня 2020; м. Київ; С. 167-171.

Інформаційні технології. Для виконання розрахунків у розділі 3 магістерської дисертації використовувалось наступне програмне забезпечення: MS Excel (внутрішні програмні функції та пакет «аналіз даних»).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, МОНІТОРИНГ, ЗАХІД З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.

ABSTRACT

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters of the main part, conclusions, a list of used literature sources. The full volume of the dissertation contains 97 pages, 21 figures, 23 tables, 51 bibliographic titles according to the list of references.

Actuality of theme. Today, energy saving and energy efficiency are among the most important and important issues for modern enterprises, institutions and companies. Modern directions of energy saving and energy efficiency include energy saving and increasing the efficiency of the production process. The high level of these indicators contributes to increasing the competitiveness of industrial products in world markets by reducing the unit cost of energy per unit of output and reducing the specific payment for greenhouse gas emissions.

However, today the energy intensity of the Ukrainian economy is twice as high as similar indicators of the world economy as a whole, because a huge amount of heat, water and electricity is used inefficiently and unjustifiably. Therefore, it is necessary to realize that the implementation of energy efficiency measures is not only necessary from an environmental point of view, but also beneficial for the whole country and specific consumers.

The aim of the study is to create a system for monitoring the effectiveness of the implementation of energy efficiency measures in the compressed air system.

To achieve this goal, the following **tasks** were solved:

- analysis of existing methods of operational control of energy use and monitoring of the results of implementation of energy efficiency measures;
- establishment of the baseline level of energy consumption in the compressed air system on the basis of multifactor regression analysis required to establish the baseline energy consumption in the compressed air system;
- creation of a system for monitoring the effectiveness of the implementation of energy efficiency measures in the compressed air system.
- development of a startup project based on the results of the study.

Object of research: the process of planning, monitoring and analysis of energy consumption in the compressed air system.

The subject of the study are methods and approaches to monitoring the effectiveness of energy efficiency measures.

Scientific novelty. The system of monitoring the effectiveness of the implementation of energy efficiency measures has been improved, which is based on the use of Schuhart control charts and CUSUM graphs with the use of V-masks, which allows to quickly identify moments of non-accidental reduction or increase of energy efficiency.

Practical meaning. The results obtained in the dissertation can be used to plan energy consumption of industrial facilities in Ukraine, operational and objective monitoring of the effectiveness of the implementation of energy efficiency measures and evaluate the effectiveness of their implementation.

The main results of the dissertation were reported and discussed at the XII Scientific and Technical Conference "Energy. Ecology. Man "(Kyiv, May 7-8, 2020) and at the III Scientific and Technical Conference of IEE undergraduates (Kyiv, November 26-27, 2020).

Publications. Karnazhuk T., Borychenko O., Monitoring the effectiveness of energy saving measures. XII Scientific and Technical Conference "Energy. Ecology. Man "on May 7-8, 2020; m. Kyiv; Pp. 167-171.

Information Technology. The following software was used to perform calculations in section 3 of the master's dissertation: MS Excel (internal software functions and the "data analysis" package).

KEY WORDS: ENERGY SAVING POTENTIAL, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY SAVING, MONITORING, ENERGY EFFICIENCY MEASURE.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	12
1.1 Тенденції розвитку стандартів енергоменеджменту в Україні та світі	12
1.2 Формування системи енергетичного менеджменту на підприємстві	23
1.3 Основні підходи до проведення моніторингу енергоефективності.....	29
Висновки до розділу 1	35
2 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	36
2.1 Загальні рекомендації для побудови базових рівнів енергоспоживання.....	36
2.2 Встановлення базових рівнів енергоспоживання	46
2.3 Аналіз базових рівнів та моніторинг впровадження заходів з енергоефективності.....	51
Висновки до розділу 2	63
3 МОНІТОРИНГ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМОЮ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ.....	64
3.1 Загальна характеристика та аналіз енергоспоживання системи стисненого повітря.....	64
3.2 Встановлення та оцінювання базового рівня енергоспоживання для системи стисненого повітря	69

3.3 Приклад моніторингу енергоефективності для системи стисненого повітря.....	79
Висновки до розділу 3	86
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	87
4.1 Опис ідеї проекту	87
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	88
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	89
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	92
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	92
Висновки до розділу 4	94
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогодні енергозбереження та енергоефективність є одними з актуальних і важливих проблем для сучасних підприємств, установ і компаній. Сучасні напрямки енергозбереження та енергоефективності включають в себе економію енергоресурсів і підвищення ефективності процесу виробництва. Високий рівень цих показників сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції промислового підприємства на світових ринках шляхом зменшення питомої вартості енергоносіїв на одиницю продукції і скорочення питомої плати за викиди парникових газів.

Однак на сьогоднішній день енергоємність української економіки вдвічі вище в порівнянні з аналогічними показниками світової економіки в цілому, оскільки величезна кількість тепла, води і електрики використовується неефективно і невиправдано. Тому необхідно усвідомити, що впровадження заходів з енергоефективності не тільки необхідно з екологічної точки зору, але також вигідно для всієї країни і конкретних споживачів.

є створення системи моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні **завдання**:

- проведення аналізу існуючих методів оперативного контролю енерговикористання та моніторингу результатів впровадження заходів з енергоефективності;
- встановлення базового рівня енергоспоживання в системі стисненого повітря на основі багатофакторного регресійного аналізу, необхідної для встановлення базової лінії енергоспоживання в системі стисненого повітря;
- створення системи моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря.
- розроблення стартап-проекту за результатами дослідження.

Об'єкт дослідження: процес планування, моніторингу та аналізу обсягів споживання енергії в системі стисненого повітря.

Предметом дослідження є методи та підходи до моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності.

Наукова новизна. Удосконалено систему моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності, яка ґрунтується на використанні побудови контрольних карт Шухарта та графіків CUSUM із застосуванням V-масок, що дає можливість оперативно визначати моменти невідповідного зниження або підвищення ефективності енерговикористання.

Практичне значення. Отримані в дисертаційній роботі результати можуть використовуватися для планування енергоспоживання промислових об'єктів в Україні, оперативного і об'єктивного здійснення моніторингу ефективності впровадження заходів з енергоефективності та оцінювання ефективності їх впровадження.

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина» (м. Київ, 7-8 травня 2020 р.) та на III Науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (м. Київ, 26-27 листопада 2020 р.).

Інформаційні технології. Для виконання розрахунків у розділі 3 магістерської дисертації використовувалось наступне програмне забезпечення: MS Excel (внутрішні програмні функції та пакет «аналіз даних»).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, МОНІТОРИНГ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИЙ ЗАХІД.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

1.1 Тенденції розвитку стандартів енергоменеджменту в Україні та світі

XXI століття характеризується стрімким збільшенням кількості населення, прискореним розвитком виробництва, а також науковим вдосконаленням і інноваційним зростанням. Однак, поряд з такими позитивними аспектами, виникає питання виснаження запасів традиційних джерел енергії.

Протягом тривалого часу промислово розвинені країни прагнуть створити умови для підвищення ефективності використання енергії, і на цьому шляху вже вдалося домогтися значних успіхів. В області паливно-енергетичного комплексу, підвищення енергоефективності включає в себе заходи, що застосовуються в газовій, нафтовій та вугільній промисловості, а також в електроенергетиці.

З метою комплексного розвитку енергоефективності та енергозбереження в Україні прийнятий Закон «Про енергозбереження» від 23.07.2017 року [1].

Згідно цього Закону енергозбереження – це діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в національному господарстві і яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів[1].

На сьогодні енергозбереження є однією з актуальних і важливих проблем для сучасних підприємств, установ і компаній. Сучасні напрямки енергозбереження включають в себе економію енергоресурсів і підвищення ефективності процесу виробництва. Високий рівень енергозбереження сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції промислового

підприємства на світових ринках шляхом зменшення питомої вартості енергоносіїв на одиницю продукції і скорочення питомої плати за викиди парникових газів.

Як показує практика, термін "енергоефективне суспільство", а також безпосередньо пов'язані з ним терміни "енергоефективність" та "енергозбереження" тлумачаться неоднозначно. Разом з тим без чіткого уявлення про природу цього явища правомірність використання будь-яких наявних систем і показників видається сумнівним, а також виникає невизначеність і в постановці завдань, наприклад, щодо зниження енергоємності валового внутрішнього продукту.

При тлумаченні енергоефективності необхідно використовувати системний підхід. По-перше, енергія - це один з факторів-ресурсів, що утворюють систему об'єктивних факторів економічного розвитку. Відповідно, процеси, пов'язані з виробництвом і використанням енергії, формують і розвивають властивості економіки.

По-друге, енергія входить в систему вихідних ресурсів, які забезпечують виникнення і розвиток економіки. Разом з тим це незвичайний ресурс, оскільки він є складовою частиною всіх інших ресурсів, іншими словами, енергія бере участь у формуванні всіх властивостей економіки.

По-третє, позитивний вплив енергії на властивості економіки можливо тільки при певному стані процесу відтворення енергії. У комплексному вигляді цей стан характеризується енергоефективністю, оскільки відтворення енергії пронизує всю сукупність відтворювальних ланцюгів економіки.

Енергоресурси мають принципове значення для поліпшення якості життя населення та розширення можливостей, що відкриваються перед суспільством як розвинених, так і країн, що розвиваються. Тому забезпечення ефективного, системного, надійного і екологічно безпечного підходу до енергопостачання (при наявності цін, що відбивають фундаментальні основи ринкової економіки) являє собою глобальну мету для розвитку держав.

Суть поняття енергоефективності полягає в скороченні споживання енергії для виконання одного і того ж обсягу робіт при освітленні, обігріві, виробництві будь-якого товару і т.д. Для населення це означає зменшення витрат на комунальні послуги, для країни в цілому – раціональну економію паливно-енергетичних ресурсів, перш за все експортного газу, і підвищення продуктивності промисловості. Підвищення енергоефективності дуже важливо з позицій екології, оскільки сприяє обмеженню викидів в атмосферу парникових газів; також позитивно позначається воно і на діяльності енергетичних компаній: знижуються витрати на паливо і економічно не виправдані витрати на дороге будівництво і покупку устаткування [2].

Однак на сьогоднішній день енергоємність української економіки вдвічі вище в порівнянні з аналогічними показниками світової економіки в цілому, оскільки величезна кількість тепла, води і електрики використовується неефективно і невиправдано[3].

Необхідно усвідомити, що підвищення енергоефективності економіки не тільки необхідно з екологічної точки зору, але також вигідно для всієї країни і конкретних споживачів.

Енергетичний менеджмент - це постійно діюча система управління енергоспоживанням, що дозволяє значно оптимізувати обсяги енергетичних витрат, прогнозувати і контролювати процеси вироблення, транспортування та використання необхідної кількості енергоресурсів для забезпечення господарської діяльності об'єктів. У свою чергу, система енергетичного менеджменту являє собою комплекс взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів (організаційних заходів, технічних засобів і програмно-методичного забезпечення), спрямованих на формування енергетичної політики, постановки цілей і розробки заходів по досягненню цих цілей [4].

Впровадження системи енергоменеджменту дозволяє провести аналіз і облік всіх процесів компанії, пов'язаних зі споживанням енергії (енергетичних аспектів). На підставі аналізу можливе зниження енерговитрат і підвищення енергоефективності у всіх операціях виробничої діяльності.

Практика енергозбереження в багатьох країнах спочатку базується на національних стандартах управління енергоефективністю. Так, в Фінляндії діє стандарт *ETJ*, який розглядається як один з кроків, що спрощують впровадження міжнародного стандарту.

Стандартизація - це діяльність із встановлення оптимального ступеня порядку загального та багаторазового використання в певному контексті з врахуванням потенційних чи реальних проблем [5]. В свою чергу, стандарт - це документ, прийнятий та затверджений визнаним органом, що призначений спеціально для багаторазового використання, оскільки містить настанови, правила та опис діяльності з метою оптимізації процесу [5]. Функція стандарту полягає у ефективному підключенні систем, забезпеченні якості обслуговування, зменшенні різноманітності різних систем та описі процесів чи продуктів.

Одним із перших стандартів з енергоефективності є стандарт *AS 3595-1990* "Програми управління енергоспоживанням - Настанови щодо фінансової оцінки проекту" , що був прийнятий у Австралії від 01.01.1990р.[6].

А першим сучасним енергетичним стандартом можна вважати *DS2403: 2001* [7]. Датський стандарт від 2001 року визначає вимоги до системи управління енергоспоживанням, щоб організація могла контролювати своє поточне та майбутнє споживання енергії. Вимоги стосуються лише потоків енергії, на які підприємство впливає і може ними керувати. Сам стандарт вимагає постійного підвищення ефективності з точки зору економії та енергоємності. Цей самий стандарт не визначає конкретних критеріїв енергоефективності та стосується лише до тих організацій, які хочуть забезпечити відповідність енергетичній політиці країни чи планують сертифікацію акредитованим органом.

Потім у 2003 році з'явився стандарт *SS 627750* "Системи енергоменеджменту - Специфікація". Шведський стандарт встановлює вимоги до системи енергоменеджменту, які дозволяють організації визначити

енергетичні цілі та сформулювати енергетичну політику шляхом законного регулювання факторів, що впливають на енергетичний баланс [8].

Наступний енергетичний стандарт з'явився в Ірландії у 2005 році під назвою *IS. 393: 2005 "Системи енергоменеджменту - Вимоги з вказівками щодо використання"*. Новіша форма стандарту для підвищення енергоефективності вийшла в 2009 році від Європейського комітету зі стандартизації в електротехніці під назвою *EN 16001: 2009 "Системи енергоменеджменту. Вимоги з вказівками щодо використання"*, які лише через три роки будуть замінені на *EN ISO 50001: 2011 "Системи енергоменеджменту. Вимоги з вказівками щодо використання"* [9].

Орієнтація на впровадження системи енергоменеджменту значно зросла після видання в липні 2009 року стандарту *EN 16001: 2009*, який отримав національний статус в 30 країнах Європи.

Стандарт *ISO 50001: 2011*, який вступив в силу в липні 2011 року, включив в себе досвід, представлений національними стандартами ряду країн, в тому числі США (*ANSI / MSE 2000: 2008*), ПАР (*879: 2009*), Південної Кореї (*KS A 4000: 2007*), Китаю (*GB / T 23331: 2009*), Білорусі (*СТБ 1777-2009*) [10].

Стандарт *ISO 50001* забезпечує будь-яку організацію, незалежно від її розміру, територіального або географічного положення, повноцінною стратегією дій в менеджерській і в технічних областях з метою підвищення ефективності енергосистеми організації.

Після виходу *ISO 50001: 2011* ряд європейських країн (Великобританія, Данія, Іспанія, Нідерланди) прийняли національні версії цього документа. Через півроку після публікації міжнародний стандарт встиг отримати національний статус не тільки в європейських країнах, але і в Японії, Сінгапурі, Індії, ПАР, Канаді, Бразилії.

На відміну від більшості стандартів *ISO*, *ISO 50001* можна відсортувати як загальний стандарт управління (такий як і *ISO 9001* та *ISO 14000*), що може застосовуватися до будь-якої організації. Цей стандарт базується на

циклі Вільяма Едвардса Демінга: плануй (*Plan*), роби (*Do*), перевіряй (*Check*), дій (*Act*). (*PDCA*) (див. рис. 1.1).

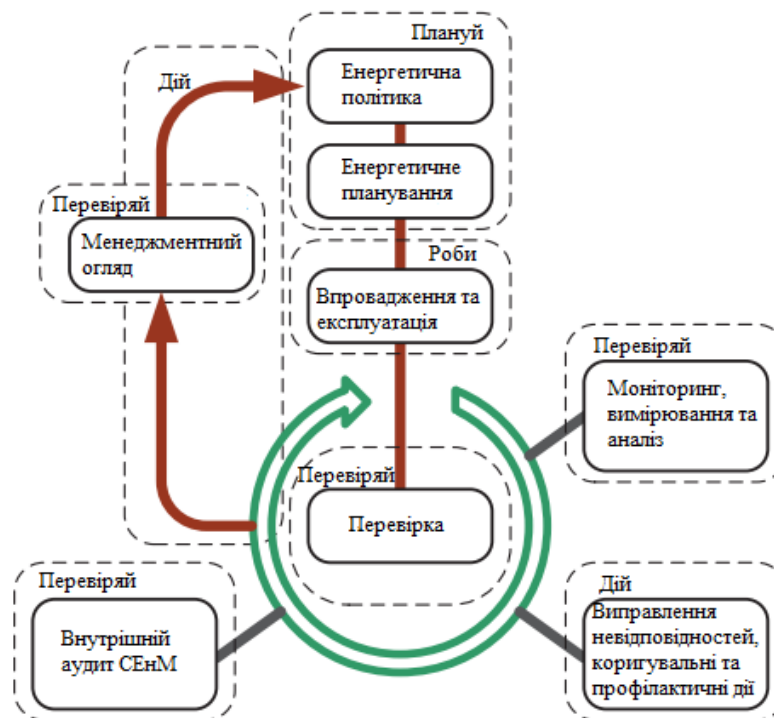


Рисунок 1.1 – Модель системи енергоменеджменту з циклом *PDCA* [11]

У США за фінансової підтримки Міністерства енергетики в 26 американських компаніях були прийняті рішення по реалізації пілотних проектів з впровадження систем енергоменеджменту на основі вимог стандарту *ISO 50001: 2011*.

На думку Марко Маттейні (*Marco Matteini*), що представляє Організацію ООН з промислового розвитку (*United Nations Industrial Development Organization, UNIDO*), «енергоефективність в сучасній промисловості досягається сьогодні здебільшого не за рахунок впровадження нових енергозберігаючих технологій, а за рахунок змін в методах і способах управління ». Світова практика впровадження *ISO 50001* показує позитивну динаміку впровадження енергоменеджменту на системній основі.

Найбільшу кількість систем енергетичного менеджменту сертифіковано в Європі. Це обумовлено розвитком виробництва в умовах

обмеженості енергоресурсів та жорсткою політикою Євросоюзу з енергозбереження. За статистикою, наведеною Рейнхардом Пеглау, старшим науковим співробітником агентства з навколишнього середовища Німеччини, в кінці 2013 року близько 100 організацій в 26 країнах, які пройшли сертифікацію по *ISO 50001: 2011* року, отримає результат у вигляді зниження витрат, збільшення енергоефективності та економії енергоресурсів. Серед них *Lamborghini* (Італія), *Bouygues* (Франція), Інформаційний центр *Equinix* (Голландія), Італьяменти (Болгарія), *Lindt & Sprungli* (Німеччина), *Northern Rail* (Великобританія), *Pilkington Floatglas AB* (Швеція) і інші.

На період 2014-2016 рр. припав самий пік, проте в 2017 році цей ріст сповільнився, що могло бути пов'язано з виходом нової версії 2018 року. Навпаки, стійке зростання сертифікатів по *ISO 50001: 2018* спостерігалось на всіх континентах, найбільш активно - з державах Східної Азії і Тихого океану. Перелік топ-15 країн-лідерів по сертифікованим системам енергетичного менеджменту показаний в таблиці 1.1.[12].

Україна в даному списку займає 59 позицію, це означає, що менеджмент підприємств не сильно просунувся в розумінні результату впровадження, або витрати на впровадження і сертифікацію не виправдовують очікування. Зауважимо, що сертифікація по *ISO 50001: 2018* є добровільною.

Таблиця 1.1 - Країни-лідери за кількістю сертифікатів *ISO 50001: 2018*

№	Країна	Кількість сертифікатів по <i>ISO 50001: 2018</i>	Кількість місць, де застосовується сертифікат
1	Німеччина	5786	13122
2	Китай	2934	2943
3	Великобританія	1184	3203
4	Італія	1168	2823

Продовження таблиці 1.1

5	Франція	812	6751
6	Індія	773	961
7	Іспанія	625	3219
8	Угорщина	472	957
9	Туреччина	306	416
10	Болгарія	252	246
11	Греція	241	404
12	Австрія	236	681
13	Тайвань (провінція Китаю)	234	347
14	Латвія	213	225
15	Тайланд	199	221
...
59	Україна	12	16

Серед галузей, що лідирують за впровадженням та сертифікації системи енергетичного менеджменту, є виробництво металу, як найбільш енергоємне (див. Табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Десять галузей промисловості, лідируючих у 2019 році за кількістю сертифікатів ISO 50001: 2018

№	Галузь	Кількість сертифікатів по ISO 50001: 2018
1	Виробництво металу та готових металевих виробів	1404
2	Пластмасові та гумові вироби	881
3	Харчові продукти, напої та тютюн	864

Продовження таблиці 1.2

4	Хімічні речовини, хімічні продукти та волокна	622
5	Інші послуги	448
6	Техніка та обладнання	439
7	Електричне та оптичне обладнання	428
8	Транспортування, комунікація та зв'язок	340
9	Оптова та роздрібна торгівля, ремонт автомобілів, мотоциклів, предметів особистого споживання і побутових товарів	333
10	Постачання електроенергії	324

Енергозбереження є одним із напрямків діяльності енергетичної політики України щодо розподілу, використання та економного витрачання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у національному господарстві.

Якщо аналізувати досвід України в напрямку впровадження енергоменеджменту на підприємствах, то необхідно сказати, що на рівні держави були виконані певні дії, а саме:

1. Прийнято низку нормативних актів і стандартів:

- Закон України «Про енергозбереження»;
- ряд стандартів з енергоменеджменту та енергоаудиту;
- Накази Держенергоефективності, Методики, Положення .

2. Створено Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, головною метою якого є інформаційна підтримка фізичних і юридичних осіб, які цікавляться проблемами енергозбереження, популяризація ідей раціонального використання енергії та енергозбереження серед широких верств населення, освіту в галузі енергозбереження [13].

3. Створено державну інспекцію з енергозбереження.

4. Створено інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ», де відкрито спеціальність «Енергоменеджмент».

5. Створено центр підготовки енергоменеджерів і система підвищення кваліфікації - мережа центрів при університетах Одеси, Дніпропетровська, Львова, Харкова, Запоріжжя, Києва.

Досвід міст України та розрахунки показують, що інвестиції в створення систем енергоменеджменту має віддачу близько 500%, і тому створення таких систем має бути віднесено до числа найбільш пріоритетних завдань обласної та муніципальної політики.

Для будь-якого планування необхідно встановити базову енергетичну лінію. Для цього першим кроком є проведення енергетичного аудиту. Дійсний енергетичний аудит повинен проаналізувати щонайменше 90% енергетичних потоків і повинен проводитися відповідно до: *EN 16247-1: 2012* Загальні вимоги до енергетичного аудиту; *EN 16247-2: 2014* Енергетичний аудит. Будинки; *EN 16247-3: 2014* Енергетичний аудит. Процеси; *EN 16247-4: 2014* Енергетичний аудит. Транспорт; *EN 16247-5: 2015* Компетентність енергетичних аудиторів.

Проте система енергоменеджменту не була чітко визначена, і багато питань викликали потребу в додаткових стандартах, які детально б визначали конкретні вимоги. Через три роки після випуску *ISO 50001* почали з'явилися нові стандарти:

- *ISO 50002: 2014* "Енергетичний аудит - Вимоги з інструкціями щодо використання";

- *ISO 50003: 2014* "Системи енергоменеджменту - Вимоги до органів, що здійснюють аудит та сертифікацію систем енергоменеджменту". Цей стандарт визначає вимоги до сертифікаційних організацій, які повинні впроваджувати їх у процесі сертифікації з 14 жовтня 2017 року. Всі сертифікати, видані до цього часу, продовжуватимуть діяти;

- *ISO 50004*: 2014 "Системи енергоменеджменту - Вказівки з впровадження, обслуговування та вдосконалення системи енергоменеджменту";
- *ISO 50006*: 2014 "Системи енергетичного менеджменту - Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності";
- *ISO 50007*: 2017 "Енергетичні послуги - Настанови з оцінки та вдосконалення енергетичної послуги для користувачів";
- *ISO 50015*: 2014 " Системи енергетичного менеджменту - Вимірювання та верифікація рівня енергетичної ефективності організацій. Загальні принципи і настанова";
- *ISO/TS 50008*:2018 "Енергоменеджмент та енергозбереження - Побудова управління енергетичними даними для енергоефективності. Вказівки для системного підходу до обміну даними".

На рисунку 1.2 показано, як нові стандарти доповнюють *ISO 50001* та в яких етапах процесу вони можуть застосовуватися.

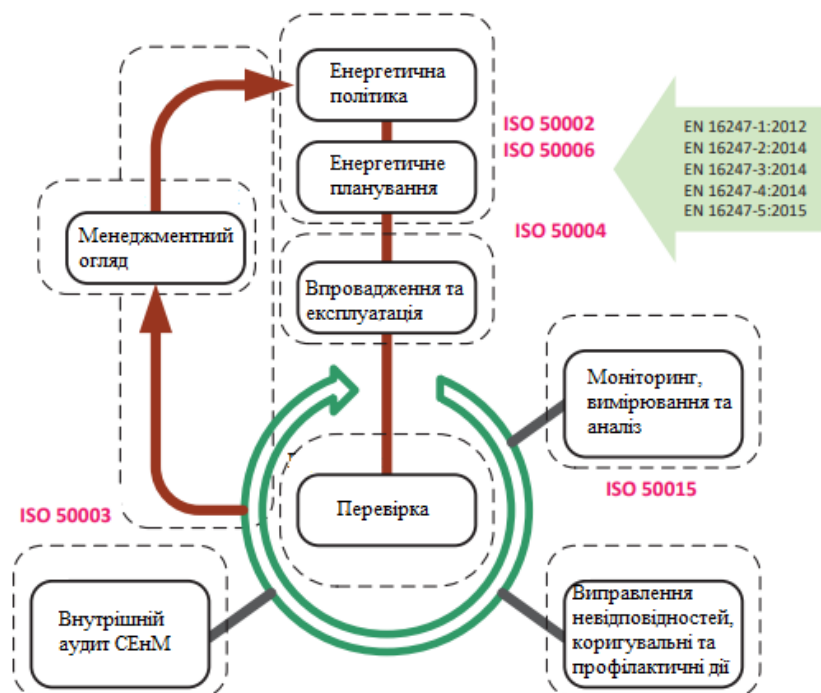


Рисунок 1.2 – Впровадження додаткових стандартів у моделі системи енергоменеджменту [14]

1.2 Формування системи енергетичного менеджменту на підприємстві

Загальна схема впровадження системи енергетичного менеджменту (СЕНМ) та економія енергоресурсів відбувається поетапно. Після первинної реалізації системи, зменшення витрат відбувається в результаті простих дій, таких як зміна тарифної моделі. Після першого аудиту та визначення наступних дій приймається інвестиційне рішення, яке в кінцевому підсумку призводить до додаткового підвищення ефективності завдяки впровадженню більш ефективного обладнання. Зрештою, сама система призводить до підвищення ефективності завдяки постійному процесу *PDCA* [15].

Енергоменеджмент являє собою безперервну діяльність, яка розвивається з плином часу. Неможливо вирішити всі проблеми одночасно, проте послідовна діяльність в циклі Демінга *PDCA* (*Plan, Do, Check, Act* - Плануємо, Реалізуємо, Перевіряємо, Реагуємо) дозволяє досягати постійних змін на краще, усуваючи невідповідності і вдосконалюючи систему управління.

Цикл включає 4 наступних етапи [16]:

- Планування змін. На даному етапі проводиться комплексний аудит існуючої організаційно - структурної та управлінської моделі підприємства, досліджуються її переваги і недоліки, ризики та потенціал вдосконалення, розробляються напрями перетворень і визначається кінцевий бажаний образ системи. На даному етапі так само може бути сформована група критеріїв, за якими буде визначатися рівень досягнення результатів проведених змін.

- Реалізація змін. Даний етап передбачає безпосереднє проведення змін згідно сформованому плану. Етап передбачає коригування функцій персоналу підприємства, оптимізацію механізмів взаємодії, перетворення організаційної структури підприємства. Важливо відзначити, що організаційні зміни на підприємстві проводяться на фінальному етапі і, як правило, є наслідком трансформації стратегії, а також функціональної, процесної та інституційної основи підприємства.

- Перевірка змін. Даний етап передбачає аналіз і рефлексію проведених перетворень на підприємстві. В його рамках може проводитися якісний і кількісний аналіз досягнутих результатів, отримання зворотного зв'язку від персоналу, збір додаткових пропозицій щодо вдосконалення організаційної основи і структури підприємства.

- Коригування. В процесі коригувальних дій відбувається оптимізація механізмів функціонування підприємства, вирішення проблем, які виникли і уточнення організаційних, структурних та управлінських параметрів роботи компанії.

Необхідно відзначити, що цикл Демінга визначає тільки концептуальну (універсальну) логіку організаційних змін; його застосування на практиці потребує суттєвої деталізації всіх етапів трансформації і врахування особливостей зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства.

Цикл Демінга за своєю суттю представляє діяльність по постійному вдосконаленню бізнесу і моделі управління ним. Даний цикл орієнтований на безперервний розвиток і може застосовуватися для вирішення проблем підприємства практично у всіх сферах – у сфері підвищення якості продукції, технологій, методів управління, організаційних структур і т.д.

Найважливішим питанням процесу проведення організаційних та інших перетворень на промислових підприємствах є вироблення чіткої системи принципів, відповідно до якої буде здійснюватися трансформація організаційно-економічної моделі компанії. З одного боку, реалізація такої системи принципів дозволить зберегти керованість підприємства в перехідний період, а з іншого – забезпечити його збалансований перехід до нових і інноваційних механізмів господарювання.

Однак для забезпечення ефективного дотримання цих нормативних актів кожна організація повинна розробити СЕнМ, повністю пристосовану до власної стратегії, місії, процесів або систем, і для цієї мети вибір репрезентативних енергетичних показників є фундаментальним. У зв'язку з

цим, наприклад, маючи справу з виробничим заводом, менеджер може легко співвіднести показники споживання енергії з обсягом виробництва, тобто з одиницями продукції або товарів. Більше того, у цих випадках він також усвідомлює необхідність впровадження системи моніторингу та інструментів контролю для виявлення відхилень від очікуваних значень, які можна промодельовати.

Навпаки, подібні методи вимірювання та повторюваність не підходять для організацій, що пропонують нематеріальні послуги, таких як університети, державні адміністрації чи урядові органи. У цьому випадку енергетичний менеджер стикається з основною проблемою отримання реальних, надійних та ефективних даних, враховуючи фактичні енергетичні показники організації. Як наступне і найважливіше питання, СЕнМ для цих організацій потребує впровадження практичних та стандартизованих інструментів, включаючи процеси моніторингу та контролю в режимі реального часу, щоб визначити тенденцію енергетичних показників з часом.

Для оперативного управління споживанням ПЕР на підприємствах необхідно впроваджувати систему енергетичного менеджменту. Для цього структура управління підприємством повинна включати підрозділ, що займається впровадженням енергозберігаючих технологій та відповідного обладнання, а також управлінням матеріальними, фінансовими і людськими ресурсами з метою підвищення ефективності використання ПЕР та зниження його витрат.

Наявність системи енергоменеджменту дозволяє будь-якій організації оптимізувати витрати на енергоресурси.

У ситуації прийняття рішення по впровадженню системи енергетичного менеджменту повинні бути сформульовані базові принципи підприємства в галузі енергоефективності та енергозбереження. Принципи менеджменту являють собою ідеології підприємства, основні правила або керівні установки для здійснення підприємством своєї діяльності, основні погляди, які повинні лягати в основу діяльності кожного співробітника

підприємства. Принципи підприємства, офіційно сформульовані вищим керівництвом підприємства, повинні відображати загальну позицію підприємства, а також реакцію підприємства на зміни зовнішнього середовища.

Енергетичний менеджмент здійснюється на основі двох взаємопов'язаних сфер діяльності: організації обліку, контролю і діагностики споживання ПЕР і плануванні та реалізації енергозберігаючих заходів (впровадження на підприємстві програми енергозбереження).

Далі в короткому вигляді представлена методика, яка враховує вимоги систем менеджменту і планування подальшої інтеграції в єдину інтегровану систему:

- формування команди проекту.
- розробка та узгодження плану проекту.
- виконання *GAP*-аналізу.
- виконання енергетичного планування.
- виконання енергетичного аналізу.
- формування енергетичної базової лінії та показників енергетичних результатів.
- визначення енергетичних цілей, завдань і планів заходів.
- розробка документації (з урахуванням наявної документації інтегрованої системи).
- навчання внутрішніх аудиторів СЕнМ (з урахуванням наявної компетенції по іншим системам).
- проведення внутрішніх аудитів СЕнМ (з урахуванням єдиної програми аудитів інтегрованої системи менеджменту).
- проведення аналізу СЕнМ з боку керівництва (з урахуванням прийнятого порядку інтегрованої системи менеджменту).
- формування плану постійного поліпшення енергетичної результативності СЕнМ.

Зазначимо, що впровадження систем енергоменеджменту при вирішенні завдання реалізації комплексної безпеки промислових об'єктів повинно виконуватися на всьому життєвому циклі, а отже, повинен бути задіяний апарат управління ланцюжком поставок. В даний час управління ланцюгами поставок як концепція *Supply chain management (SCM)* є одним з ефективних способів збільшення прибутку і частки ринку і активно впроваджується в економіці промислово розвинених країн. Багато великих компаній, впроваджують принципи *SCM* як нову ідеологію бізнесу. Ясно, що ефективне управління ланцюгами поставок - наступний крок, який необхідний для підвищення конкурентоспроможності [17].

Найбільш переконливим економічним аргументом на користь енергозбереження є зниження витрат на придбання енергоресурсів. Більшість організацій можуть скоротити свої витрати на енергоресурси на величину до 20% за рахунок більш якісного управління енергоспоживанням і інвестицій в економічно ефективні заходи.

Система енергоменеджменту - творчий продукт команди підприємства, що вимагає чесної участі всіх співробітників. Допомогти у впровадженні може розуміння вітчизняної специфіки і рекомендацій, зроблених на основі минулих впроваджень. Як свідчить відоме гасло компанії Тойота: «Маленькі зміни кожен день, в які залучені всі співробітники». Завданням системи енергоменеджменту є вбудувати критерій енергоефективності в повсякденну практику прийняття рішень на всіх рівнях, і мета стандарту - запропонувати набір пунктів, чесно виконавши які, компанія гарантовано отримає систему, яка генерує послідовні поліпшення енергорезультативності, тобто перш за все економію енергоресурсів.

Процесний підхід - основа управлінської культури, потужний інструмент в руках менеджменту і обов'язковий елемент сімейства стандартів *ISO* по системам управління. Фактично, процеси є одиницею, об'єктом управління.

Оновлена версія міжнародного стандарту з енергетичного менеджменту прямо вимагає визначення і виявлення процесів, відповідних бізнесу організації.

Процес розуміється як сукупність взаємопов'язаних або взаємодіючих видів діяльності, які перетворюють ресурси на вході в нього в результат діяльності на виході. Процеси діляться на фізичні (в першу чергу технологічні) і управлінські, сервісні.

Описавши всю діяльність підприємства у вигляді ряду взаємопов'язаних процесів (карти процесів), менеджер отримує хроніку руху всіх видів ресурсів і їх перетворення в продукт, картину взаємодії підрозділів і розподілу відповідальності.

Залежно від профілю, величини підприємства, виробленої продукції або послуг, що надаються процеси будуть відрізнятися. І навіть дві ідентичних організації, швидше за все, по-різному представлять свої процеси. Як це завжди буває при впровадженні систем менеджменту, єдиного правильного рецепту тут немає, і менеджери самі формують цей інструмент для зручності подальшого застосування. Карта процесів також може і повинна періодично переглядатися і оновлюватися.

Роботою енергоменеджера стає інтеграція дій по досягненню цілей і завдань в галузі енергетики в бізнес-процеси підприємства.

Зокрема, одна з базових методик полягає у виділенні трьох великих груп процесів в наступній класифікації:

- управління системами менеджменту;
- процес випуску, включаючи проектування і розробки, закупівлі, зберігання, виробництво або надання послуги з підпроцесами, реалізація і т.д.;
- допоміжні процеси - управління персоналом, інфраструктурою, контроль якості, бухгалтерський облік і т. п.

Ще один важливий принцип системи менеджменту, в тому числі енергетичного - це управління ризиками та врахування можливостей, що також стало вимогою стандарту *ISO 50001: 2018*.

Діяльність з управління ризиками є частиною процесного підходу і передбачає інтегральний розгляд ризиків.

Які ризики характерні для бізнесу підприємства? Чи можливо уникнути їх, або тільки знизити? Різні процеси мають різні ступені ризику, але в будь-якому випадку цим необхідно управляти.

Кожен ризик характеризується двома показниками - ймовірністю виникнення і величиною наслідків. Рекомендується кількісно за обраною шкалою оцінити обидва чинники. Перемноження чисел дасть загальну характеристику ризику. Чим більше число, що вийшло - тим вагомішим ризик, і тим більше уваги треба приділити роботі з ним.

Підприємству необхідно:

- визначити ймовірні ризики та можливості, оцінити ймовірність їх виникнення і величину наслідків.
- визначити відповідні дії по профілактиці виникнення ризиків, а також дії з реагування, розподілити відповідальність і виділити ресурси.
- враховувати виявлені ризики та можливості в управлінні процесами.
- у разі виникнення та реалізації запланованих дій виробляти подальшу оцінку їх ефективності.

1.3 Основні підходи до проведення моніторингу енергоефективності

При вирішенні проблеми енергозбереження на об'єкті, чи то окремої системи енергоспоживання чи технологічного процесу, або промислової компанії, або комунально-побутової сфери, виникає питання оцінки фактично досягнутих рівнів енергоефективності.

Щоб отримати об'єктивну відповідь на це питання, потрібно використовувати принаймні два відповідні показники. З одного боку, потрібна кількісна оцінка фактичної енергоефективності об'єкта, що

розглядається, з іншого боку, потрібен базовий рівень, який вказує, наскільки висока енергоефективність повинна бути в цій галузі за відповідних умов експлуатації та визначається на основі математичної моделі, створеної для цих умов.

Однак кожна математична модель має залишкову помилку в описі досліджуваного процесу, що пов'язано з тим, що модель не враховує вплив усіх факторів на зміну споживання енергії на об'єкті. А іноді залежності енергетичних показників від параметрів технологічного процесу настільки складні, що їх можна лише частково змодельовати (тобто знайти функцію, яка найкраще описує процес серед усіх інших характеристик, але недостатньо чітко її визначає)[18-19].

Для розуміння потенціалу енергоефективності необхідно збирати та аналізувати дані про споживання енергії, встановлювати цілі споживання енергії, а фактичне споживання енергії можна виміряти відповідно до цілей.

Моніторинг та встановлення цілей - це техніка управління енергією, яка використовує дані споживання енергії та інші дані як основу для усунення відходів, зменшення та контролю споживання енергії [20]. Моніторинг та встановлення цілей мають величезний потенціал у всьому світі для економії енергії без капітальних вкладень.

Найбільш загальні і великі цілі в галузі енергетики встановлюються в енергетичній політиці. Вони, з одного боку, відповідають масштабу і специфіці підприємства, його стратегічним цілям, і відображають амбіції в області енергетичної та екологічної ефективності, а з іншого - є основою для постановки більш конкретних цілей. Тобто необхідна декомпозиція цілей, встановлених в енергополітиці, на більш нижні рівні.

Тут важливо визначити показники енергетичної результативності, які і будуть піддаватися моніторингу. Їх зміна (досягнення певної величини) буде метою в області енергетики. Показники повинні бути обрані так, щоб їх моніторинг дозволяв довести зміну енергорезультативності компанії.

Традиційно в якості показників енергетичної результативності прийнято вибирати питомі або енергетичні (виражені в натуральних одиницях), або енергоекономічні (з використанням вартості, грошових оцінок) [21].

Енергетичні показники - це питомі показники, які відображають енергетичну ефективність роботи, обладнання, технології, окремі об'єкти та цілі організації та виражаються у фізичних одиницях, наприклад, кілограм умовного палива (кілоджоуль, кіловат-година) на тонну, на квадратний або кубічний метр, на кілограм і т. д.

Енергоекономічні показники аналогічно характеризують енергоефективність, але вже з застосуванням фінансових одиниць у чисельнику або знаменнику, або там, і там, наприклад, кілограм умовного палива (кілоджоулів, кіловат-годин) на грошову одиницю власних витрат або обсяг виробництва.

Затрати енергії (палива) у чисельниках можуть бути обмежені, за бажанням, певними переказами (зазвичай в межах системи енергоменеджменту, тобто для всієї організації - в межах організації, для конкретного цеху або підрозділу - від входу до виходу з нього).

Для комплексної оцінки енергетичної результативності компанії доцільно вибрати один або два провідних показника. Один з них в більшості випадків - виробнича енергоємність виготовлення визначеної продукції. Енергетичні цілі окремих підрозділів, за загальним правилом, виражаються у власних показниках, які контролюються і управляються через доступні інструменти.

Питомі показники енергоємності дозволяють проводити бенчмаркінг, тобто внутрішньогалузеві порівняння, аналізувати показники в порівнянні з конкурентами і іншими аналогічними виробництвами в галузі, а також вибирати спосіб виробництва продукції в тому випадку, коли виріб можна зробити різними технологічними процесами.

За кордоном цільові показники в галузі енергозбереження нерідко виражають у формі процентного зниження викидів парникових газів. Інші можливі ключові показники включають:

- збільшення частки річного «енергетичного бюджету» організації, що спрямовується на фінансування інвестицій в області енергозбереження і енергоефективності;
- поліпшення характеристик окупності інвестицій в підвищення енергоефективності;
- підвищення інформованості персоналу, що оцінюється за допомогою опитувань і за результатами діяльності співробітників;
- збільшення кількості співробітників, охоплених навчанням в галузі енергоефективності та енергозбереження;
- поліпшення з точки зору інструментів самодіагностики СЕнМ.

Моніторинг та встановлення цілей мають величезний потенціал у всьому світі для економії енергії без капітальних вкладень.

Для проведення моніторингу та встановлення цілей на підприємстві необхідно зібрати дані про споживання основних енергетичних ресурсів, таких як: електроенергія, теплова енергія, газ та ін. Також необхідно зібрати дані про використання енергетичних ресурсів значними споживачами енергії (котлами, печами, парогенераторами, сушарками тощо). Як правило, доцільно починати моніторинг та встановлення цілей з даних, які є доступними, а не чекати, коли всі бажані дані будуть зібрані [22].

Після збору даних потрібно провести їх аналіз. Існує кілька методів аналізу даних про споживання енергії, які і будуть розглянуті далі.

Першим і найпростішим методом є моніторинг термодинамічної ефективності установки. Цей метод ефективний для аналізу споживання енергії конкретним обладнанням (котлами, холодильними установками, печами тощо). Кількість вихідної енергії порівнюється з кількістю вхідної для визначення коефіцієнта перетворення, який потім порівнюється з попередніми показниками [23]. Якщо коефіцієнт корисної дії установки

змінюється, то це необхідно дослідити та визначити причину відхилення, тобто з'ясувати чи причина в системі, або це пов'язано зі зміною навантаження на систему.

При аналізі даних на самому базовому рівні використовують порівняння поточного і попереднього споживання енергії [23,24]. Цей метод показує кількісні зміни використання енергетичного ресурсу, але не несе інформацію про причини цих змін. Такий аналіз можна представити за допомогою графіка, як на рис. 1.3, де показано щомісячне споживання енергетичного ресурсу.

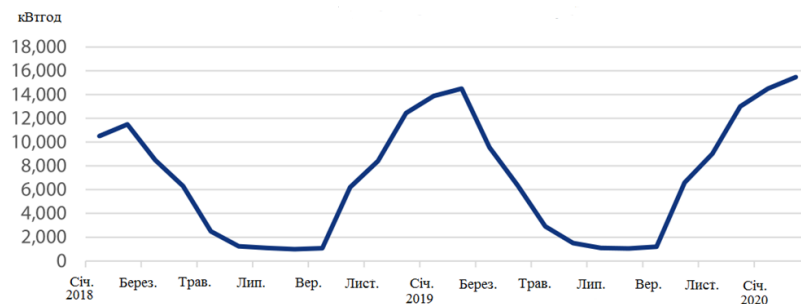


Рисунок 1.3 – Щомісячне споживання енергії

Ті ж самі дані можуть накопичуватися з часом, що дозволить продемонструвати довгострокові тенденції та усунути сезонні наслідки, такі як погода. На рис. 1.4 показано загальне споживання енергії за 12 місяців за даними, показаними на рис. 1.3, і в даному випадку надається краща інформація. Графік показує чітку тенденцію до зростання споживання енергії, хоча це знову ж таки не вказує на причину.

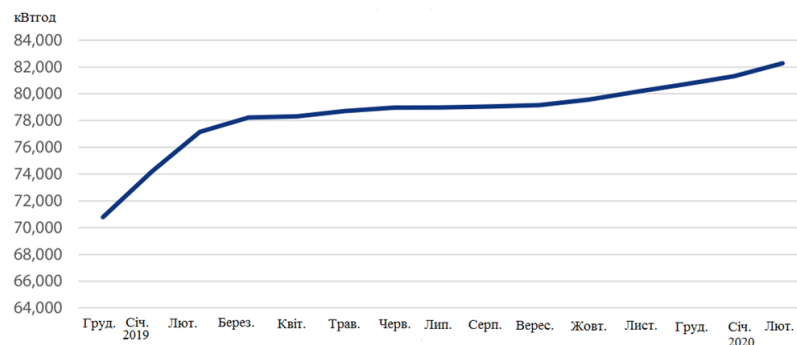


Рисунок 1.4 – Річне споживання енергії

Для подальшого аналізу використовують моніторинг питомого споживання енергії, яке вимірюється як кількість спожитої енергії на одиницю виробленої продукції. Такий метод корисний для порівняльного оцінювання щодо інших компаній, котрі виробляють у подібному середовищі, а також для визначення тенденцій на глобальному, державному чи галузевому рівні. Але для моніторингу енергоефективності цей показник потрібно використовувати обережно, оскільки він може покращитися виключно завдяки підвищеному попиту з боку ринку, а не за рахунок енергозберігаючих ініціатив.

Для більшості процесів споживана енергія складається з: фіксованої кількості (її також називають «базовим навантаженням»), яка споживається незалежно від обсягу виробництва, і змінної кількості, яка збільшується зі збільшенням обсягу виробництва [23]. Питоме споживання енергії зазвичай падає у міру збільшення обсягу виробництва, що і показано на рис. 1.5. Тому моніторинг питомого споживання енергії є недосконалим для енергетичних показників.

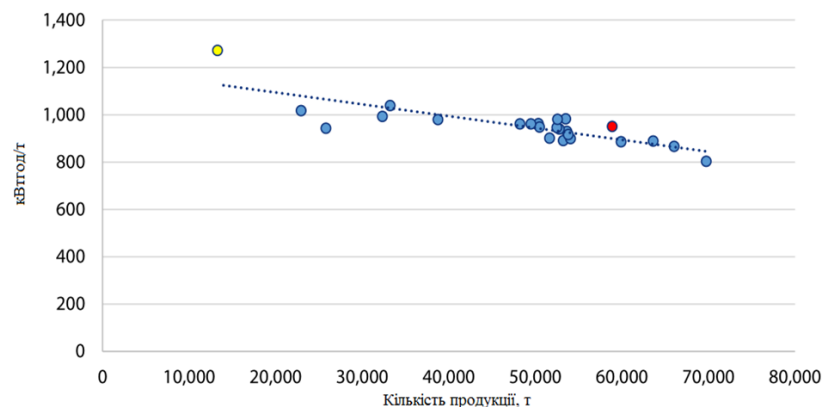


Рисунок 1.5 – Графік залежності питомого споживання від кількості випущеної продукції

Але стандарт ISO 50004 взагалі не рекомендує використовувати питомі показники, а нова версія стандарту ISO 50001: 2018 містить вимогу про їх нормалізацію, приведення в порівнянність [25]. Це може робитися,

наприклад, з використанням коефіцієнтів. Однак регресійний метод є більш точним. Він дозволяє математично описати процеси, що фізично відбуваються в установках, які споживають енергію - знайти рівняння $y(x)$ або $y(x_1, x_2, \dots, x_n)$, де y - споживання енергії, а x_1, x_2, \dots, x_n - незалежні змінні, фактори, що впливають на споживання енергії даною групою обладнання.

Висновки до розділу 1

В результаті дослідження було виявлено, що протягом тривалого часу промислово розвинені країни прагнуть створити умови для підвищення ефективності використання енергії, і на цьому шляху вже вдалося домогтися значних успіхів. В цьому розділі було розглянуто розвиток стандартів з енергоефективності країнами світу та проаналізовано досвід України в напрямку підвищення енергоефективності на підприємствах.

Однак для забезпечення ефективного дотримання нормативних актів кожна організація повинна розробити СЕНМ, повністю пристосовану до власної стратегії, місії, процесів або систем, і для цієї мети вибір репрезентативних енергетичних показників є фундаментальним.

Енергетичний менеджмент повинен здійснюватися на основі двох взаємопов'язаних сфер діяльності: організації обліку, контролю і діагностики споживання ПЕР, а також на основі планування та реалізації заходів з енергоефективності.

При аналізі даних на самому базовому рівні використовують порівняння поточного і попереднього споживання енергії, та моніторинг питомого споживання енергії, яке вимірюється як кількість спожитої енергії на одиницю виробленої продукції.

Але нові версії стандартів або взагалі не рекомендують використовувати питомі показники, або містять вимогу про їх нормалізацію, приведення в порівнянність. Це може робитися, наприклад, з використанням коефіцієнтів.

2 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

2.1 Загальні рекомендації для побудови базових рівнів енергоспоживання

Щоб вирішити проблему з конкретними споживачами, процеси в яких мають значне споживання енергії, можна використати регресійний аналіз для виявлення залежності між споживанням енергії та змінними, які впливають на це споживання (див. рис. 2.1). Рівняння, розроблене за допомогою регресійного аналізу, називається рівнянням базового рівня. Цей базовий рівень є нормою, за якою проводиться аналіз, тому він повинен базуватися на даних періоду, коли рівень виробництва та споживання енергії є відносно нормальними. Потім необхідно порівняти фактичне споживання енергії з нормальним споживанням енергії [24].

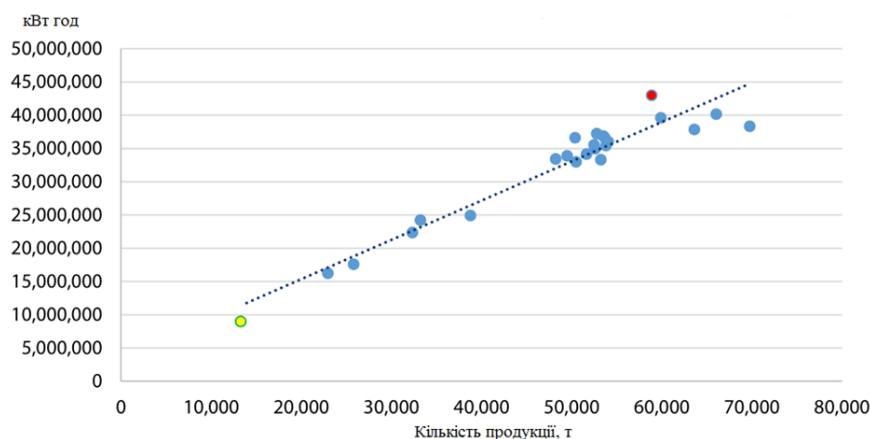


Рисунок 2.1 – Графік залежності місячного споживання від кількості випущеної продукції

На рис. 2.1 наведені ті ж самі дані, які використовуються на рис. 1.5 попереднього розділу. На цих графіках відповідні точки виділені жовтим та червоним кольором. На рис. 1.5 жовта крапка - це точка з високим питомим споживанням енергії, що виглядає як погана енергоефективність; та ж жовта

крапка на рис. 2.1 нижче норми (тобто споживання було нижчим, ніж нормальне для цього рівня випуску), що вказує на хороші енергетичні показники. Водночас червона крапка на рис. 1.5 позначає місяць з низьким питомим споживанням енергії; ця ж червона крапка на рис. 2.1 показує, що споживання енергії перевищує норму для цього рівня виробництва, що свідчить про низькі показники енергоресурсів.

Часто існує більше однієї змінної, яка впливає на споживання енергії. Тоді використовується багатокритеріальна регресія для встановлення базового рівня що описує нормальну залежність між споживанням енергії та факторами впливу.

Робота по визначенню базового рівня енергоспоживання починається з побудови технологічної карти енергоспоживання. Мета побудови карти - розбиття виробництва на елементи, в яких відбуваються перетворення продукції (зміна якісних показників), та для здійснення цих перетворень споживаються енергетичні ресурси [26].

Карта споживання представляє собою схему, на яку докладно наносяться всі ділянки технологічного ланцюга виробництва із зазначенням проведених операцій (наприклад, виплавка сталі, розливання, обробка тиском і т.д.). Для кожної ділянки прописуються вхідні та вихідні потоки матеріалу (продукції) і потоки енергоресурсів. Потім на карту наносяться місця установки вимірювальних приладів і лічильників споживання енергоресурсів. Таким чином, карта дає уявлення про енергетичні, ресурсні потоки на підприємстві та про засоби їх обліку. Істотне підвищення якості моніторингу енергоспоживання надає впровадження систем діагностики теплотехнічних і електричних параметрів енергоспоживаючого обладнання.

Об'єктом енергоспоживання може виступати окремий технологічний агрегат, окремий цех, або технологічна лінія виробництва одного виду продукції. Залежно від вибору об'єкта проводиться аналіз енергоефективності та побудова ліній (базових рівнів) ресурсо- і енергоспоживання [27].

Кожній вимірюваній величині необхідно присвоїти позначення і індекс, що дозволяють однозначно ідентифікувати етап виробництва певного продукту. Так, позначення B_{ij} , покаже споживання палива на виробництво i -го виду продукції на j -му етапі. Також необхідний безперервний облік виробництва кожного виду продукції у відповідних одиницях виміру на кожному j -му етапі (ділянці).

Наступним етапом є складання таблиці (див. табл. 2.1) абсолютного технологічного енергоспоживання з виробництва i -го виду продукції. Така таблиця будується для певного проміжку часу. Найбільш раціонально в цьому випадку вибрати один місяць.

Таблиця 2.1 – Абсолютне технологічне енергоспоживання по i -ому виду продукції за заданий проміжок часу

Споживаний ресурс / випущена продукція	№ технологічного етапу				
	$j = 1$	$j = 2$...	$j = n$	Всього
Витрачене паливо, м ³	B_{i1}^T	B_{i2}^T	...	B_{in}^T	$B_{i\Sigma}^T$
Використана електроенергія, кВт · год	E_{i1}^T	E_{i2}^T	...	E_{in}^T	$E_{i\Sigma}^T$
Використана вода, м ³	W_{i1}^T	W_{i2}^T	...	W_{in}^T	$W_{i\Sigma}^T$
Використана теплова енергія, МДж	Q_{i1}^T	Q_{i2}^T	...	Q_{in}^T	$Q_{i\Sigma}^T$
Обсяг продукції, т або шт.	M_{i1}	M_{i2}	...	M_{in}	$M_{i\Sigma}$
Примітка: Індекс Т використовується для вказівки, що значення відноситься до технологічного споживання					

З урахуванням того, що для різних видів продукції можуть мати місце спільні етапи, загальні витрати енергії на цих етапах повинні бути розподілені між усіма видами кінцевого продукту пропорційно масам матеріалу в кінцевому підсумку, що перейшли з даного етапу в різні види продукції. Тобто, за допомогою метрологічного забезпечення визначається

абсолютне споживання ресурсу на такому етапі, а потім розподіляється між різними видами продукції подібно розподілу маси речовини після даного етапу між різними видами продукції [28].

Наступним етапом є складання таблиці питомого технологічного споживання енергоресурсів для кожного виду продукції, яка має вигляд, практично ідентичний попередній таблиці, з тією різницею, що всі представлені в ній величини отримані як відношення абсолютних показників енергоспоживання до підсумкового обсягу зробленої продукції i -го виду.

Після цього необхідно скласти лінію енергоспоживання, яка представляє собою функціональну залежність енергоспоживання (ресурсоспоживання) від змінних факторів, що становлять зовнішні умови. Вибір факторів залежить від виду виробництва та продукції, що випускається.

Однак, для всіх видів виробництва, питомі показники завжди залежать від продуктивності, тобто від обсягу продукції, що випускається (M), а тому цей показник є основним. Крім того, інфраструктурне споживання енергоносіїв залежить від кліматичних умов. Залежність споживання енергії від кліматичних умов зручно вести для різниці температур всередині приміщення і зовнішнього середовища.

Визначення виду функціональної залежності доцільно проводити ймовірно статистичним методом за допомогою кореляційного аналізу. В результаті проведення такого аналізу визначається вид функції, за допомогою якої найбільш якісно описується залежність між параметрами енергоспоживання і зовнішнім впливаючим чинником. В результаті аналізу вихідних даних будується графік залежності витрати (виробітку) енергоносія від обсягу випущених виробів за базовий період. Для обраного виду функції визначення необхідних коефіцієнтів проводиться за допомогою методів регресійного аналізу [29].

Найчастіше залежність питомого енергоспоживання від обсягу продукції, що випускається має лінійний характер типу:

$$y = a + c \cdot x, \quad (2.1)$$

де y - питоме споживання деякого енергоресурсу;

x - обсяг продукції, що випускається.

Отримане в результаті рівняння регресії (функція залежності питомого енергоспоживання від обсягу продукції, що випускається), буде складатися з двох частин: умовно постійної (не залежить від обсягу продукції) « a » і змінної « $c \cdot x$ ». Постійна складова рівняння складається з технологічних витрат, наприклад холостого ходу, акумуляції енергії обладнанням тощо.

Для значної кількості випадків при розгляді технологічного споживання можна обмежитися однофакторною залежністю (показника енергоспоживання від продуктивності). У разі необхідності побудови дво- або багатфакторної моделі необхідно скористатися математичним апаратом пакетів *MathCAD* або *Statistica*. Відповідно до синтаксису обчислювальних пакетів дані рядків «фактор» вносяться як аргументи x_1, x_2 і т.д. Значення з рядка з показником енергозбереження вносяться як функція y . Вибирається вид функції (як правило, при складанні багатфакторної моделі можна вибрати лінійну залежність)[30, 31].

Далі за допомогою простих дій, описаних в інструкції до використовуваного пакету, отримуємо значення шуканих коефіцієнтів рівняння a, c_1, c_2 і т.д. Отримане рівняння регресії може використовуватися для прогнозування показників підприємства в майбутньому в залежності від обраного значення (значень) зовнішнього фактора (факторів). Подібний підхід також використовується для побудови ліній енергоспоживання основних енергоспоживаючих об'єктів. При цьому для складання таблиці замість підсумкових питомих показників енергоспоживання з виробництва i -го виду продукції в осередку таблиці вносяться питомі витрати енергії, які відбуваються в даному об'єкті в відповідні місяці.

На підставі місячних звітів по енергоефективності технологічного енергоспоживання для i -го виду продукції за обраний базовий період

будується річна таблиця, що представляє собою базовий рівень енергоспоживання підприємства з виробництва i -го виду продукції, а отримане потім рівняння регресії може використовуватися для визначення базових показників енергоспоживання підприємства в залежності від обраних в якості аргументу (аргументів) значень зовнішнього фактора (факторів), що є основою для формування внутрішньої системи нормативів підприємства.

При складанні базового рівня важливо вибрати перелік регламентованих умов і встановити допустимі діапазони зміни значень, що визначаються їх факторами. В якості регламентованих умов можуть бути використані[32]:

- вихідні параметри і характеристики продукції (сировини, заготовки) на вході в систему: вологість, інші якісні показники;
- опис роботи системи, технологічної лінії (вид енергоносіїв, номінальні параметри споживаних енергоресурсів): температура і тиск пари, показники якості підготовки води, і т.д.;
- характеристики споживача енергії, технологічного обладнання: проектна продуктивність (обсяг продукції, що випускається), режим роботи (безперервний або періодичний) тощо.

Базовий період часу, зазвичай рік, визначається на розсуд підприємства, але для його вибору доцільно керуватися деякими рекомендаціями. В обраний період часу обладнання повинно бути новим або працювати з паспортними показниками (наприклад, після капітального ремонту) [33].

Базовий період часу повинен бути стабільним і благополучним для підприємства в плані обсягів продукції, що випускається і збувається. Це дозволить побачити в майбутньому зниження показників енергоефективності, пов'язаних із зносом обладнання та визначити потенціал енергозбереження, пов'язаний з відновленням нормальної роботи обладнання, а також з відновленням ринків збуту. Таким чином, показники

енергоспоживання, приведені до регламентованих умов, і розраховані для обраного базового періоду часу формують базовий рівень енергоспоживання і є базовими показниками енергоефективності [34].

Набір факторів, в залежності від яких буде будуватися базовий рівень вибирається на підставі досвіду енергоменеджера. Для більшості випадків при роботі з інфраструктурним споживанням можна обмежитися двома факторами.

Наявність ліній енергоспоживання підприємства, включаючи базову лінію енергоспоживання, дозволить проводити порівняння ефективності роботи підприємства з іншими подібними підприємствами, зі своїми показниками за інші періоди часу або ж з еталонними показниками.

Однією з цілей, переслідуваних при порівнянні показників енергоефективності подібних виробництв, є підвищення конкурентоспроможності підприємства. Іншою метою порівняння показників енергоефективності (енергоспоживання) є визначення реального потенціалу енергозбереження [35].

Для коректності проведення такого порівняння необхідно виконати деякі умови:

1. Привести умови роботи устаткування до однакових (загальним) умов, що регламентуються (обсяги виробництва, кліматичні умови, показники якості вихідної сировини і готової продукції тощо);

2. Визначити базовий рівень енергоспоживання (якщо базові рівні енергоспоживання для підприємств раніше визначалися в різних умовах, то зараз вони повинні бути визначені в однакових умовах).

У разі порівняння однофакторних залежностей (наприклад, показника енергозбереження від обсягу виробництва), якщо діапазони реально можливої зміни фактора приблизно однакові, то доцільно провести графічне порівняння базових і поточних рівнів енергоспоживання підприємств (рис. 2.2).

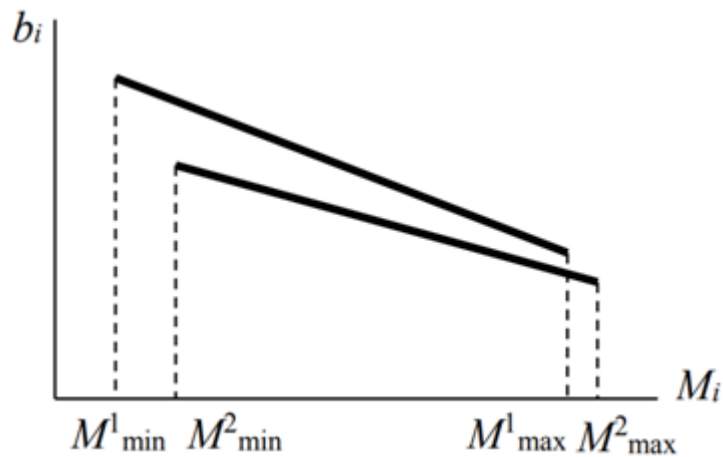


Рисунок 2.2 – Порівняння базових рівнів енергоспоживання
двох підприємств

У повному розумінні адекватне порівняння можна проводити для перекриваючого діапазону значень аргументу (тобто для показаного прикладу в діапазоні $M^2_{min} - M^1_{max}$). При необхідності точкових порівнянь можна визначити значення показника енергоспоживання базових ліній енергоспоживання порівнюваних підприємств в залежності від одного і того ж цього значення зовнішнього фактора.

Природно, що при використанні в якості показників енергоефективності питомих витрат енергоносіїв більш ефективним з енергетичної точки зору виявляється підприємство з меншим значенням показника. При графічному порівнянні більш ефективним є виробництво, для якого лінія енергоспоживання проходить нижче.

Для проведення графічного аналізу при роботі з багатфакторним залежностями необхідно вибрати найбільш цікавий для нас фактор, для інших факторів підставити в залежності однакові обрані значення. Таким чином, буде здійснено перехід до однофакторної залежності і порівняння можна буде провести за описаною вище схемою.

Найбільш повне порівняння багатфакторних залежностей можна провести за схемою, коли для кожного фактора виділяється мінімальне, середнє і максимальне значення. Всі можливі комбінації сполучень значень

факторів підставляються в розглянуті лінії енергоспоживання і проводиться попарне порівняння всіх отриманих значень показників енергоефективності. Однак при цьому отримуємо великий обсяг інформації для порівняння: дев'ять пар точок для двох факторів і для трьох факторів [36].

Порівняння базових рівнів енергоспоживання дозволяє порівняти так звані стартові показники енергоефективності виробництва, які в більшій мірі залежать від паспортних значень енергоспоживання обладнання.

Порівняння поточних ліній енергоспоживання покаже рівень енергоефективності виробництва на поточний момент. Поточні лінії енергоспоживання вже в значній мірі можуть враховувати показники енергозбереження, які характеризують діяльність людей: по організації виробництва, впровадження енергозберігаючих заходів, і т.д.

Спільний аналіз базових і поточних рівнів енергоспоживання подібних виробництв дозволить побачити роботу підприємства в галузі енергозбереження в динаміці. Якщо включити в аналіз також економічні показники витрат на реалізацію політики енергозбереження на підприємствах, можна оцінити і їх ефективність.

Головною метою такого порівняння є визначення найбільш ефективних заходів підвищення енергоефективності виробництва, особливо в тій частині, яка стосується організаційних заходів і роботи служби енергетичного менеджменту (або відділу головного енергетика).

Порівняння ж валових показників енергоспоживання підприємства в різні періоди часу не дозволяють дати об'єктивну оцінку роботі персоналу з підвищення енергоефективності виробництва, оскільки умови, при яких здійснювалася виробнича діяльність, можуть істотно відрізнятися. Для об'єктивної оцінки служать показники енергоефективності (основні і додаткові), а також лінії енергоспоживання, наведені до регламентованих умов.

Таке порівняння дозволяє вчасно виявити перевитрату енергоносіїв для виробництва і-го виду продукції. Детальний аналіз ліній енергоспоживання

по ділянках технологічного ланцюга допоможе визначити джерело і причину втрат. У той же час поліпшення показників енергоефективності позитивно характеризує якість роботи служби енергетичного менеджменту.

При порівнянні енергоефективності підприємства за різні періоди часу необхідно мати на увазі, що для них може мати місце суттєва відмінність значень зовнішніх факторів, що впливають на величину енергоспоживання. У загальному випадку більше значення показника енергоефективності (питомого енергоспоживання) за будь-який період ще не означає, що цей період характеризується меншою енергоефективністю [37].

Для адекватного порівняння роботи підприємства за різні періоди можуть бути застосовані такі прийоми:

- для тривалих періодів (наприклад, двох різних років) доцільно побудувати лінії енергоспоживання і провести їх порівняння за схемою, описаною вище;
- для коротких періодів часу (наприклад, різних місяців) доцільно нанести на графік з лінією енергоспоживання минулого року або базовою лінією енергоспоживання відповідні точки з координатами (значення показника енергоспоживання, значення фактора), рис. 2.3.

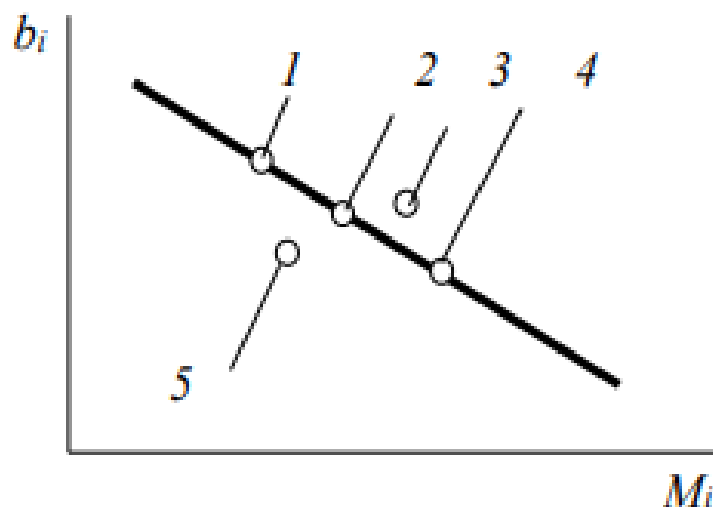


Рисунок 2.3 – Порівняння енергоефективності підприємства за різні періоди часу

Точки, які ляжуть на базовий рівень є точками рівними ефективності, точки, що лежать нижче - свідчать про більш високу ефективність, вище - про більш низьку ефективність розглянутого періоду. Так точки 1, 2 і 4 дорівнюють базовій енергоефективності; точка 3 характеризується меншою енергоефективністю, ніж точки 1, 2, 4 і базова; точка 5 має більш високу енергоефективність, ніж базова.

2.2 Встановлення базових рівнів енергоспоживання

Для дослідження виду і форми залежностей виду $y(x)$ широко застосовується регресійний аналіз, який є методичним інструментом при розв'язанні поставлених задач моніторингу.

Розрізняють лінійні і нелінійні регресії. Лінійну регресію було описано вище, а нелінійні регресії діляться на два класи: регресії, нелінійні щодо включених в аналіз пояснюючих змінних, але лінійні по оцінюваним параметрами; і регресії, нелінійні по оцінюваним параметрам [38].

Найбільш простим та зручним методом визначення коефіцієнтів регресії є метод найменших квадратів (МНК), при якому оцінюються відхилення або залишки (вертикальна відстань кожної від фактичної точки до отриманої лінії). Лінію вибирають так, щоб сума квадратів залишків була мінімальною (див. рис.2.4), а математичний запис даної задачі представлений у вигляді формули (2.2).

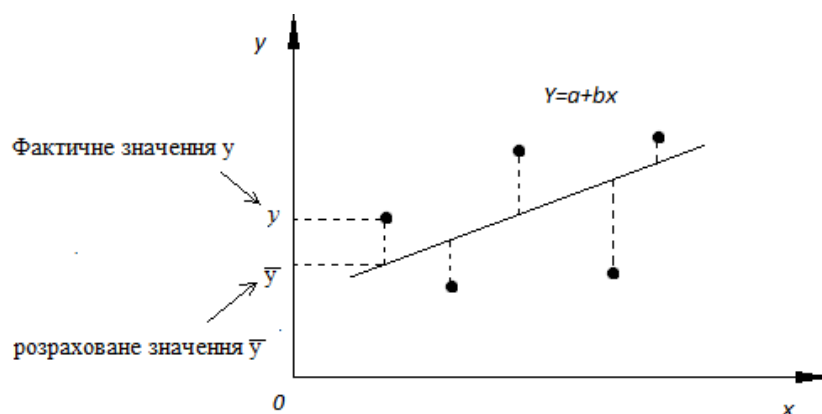


Рисунок 2.4 – Графічне зображення МНК [39]

$$S = \sum_{i=1}^n \left(y_i - (a + \tilde{b} \cdot x_i) \right)^2 \rightarrow \min \quad (2.2)$$

Значення y_i і $x_i = 1 \dots n$ нам відомі, це дані споживання енергії, та фактору, що впливає на це споживання. У функції S вони являють собою константи. Змінними в даній функції є шукані оцінки параметрів $-a$ та \tilde{b} . Для їх знаходження необхідно обчислити часткові похідні даної функції по кожному з параметрів і прирівняти їх нулю, тобто;

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial \tilde{b}} = 0. \quad (2.3)$$

В результаті отримаємо наступну систему з 2-ох лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} na + b \sum x = \sum y \\ a \sum x + b \sum x^2 = \sum yx \end{cases} \quad (2.4)$$

З цієї системи рівнянь випливають готові формули для знаходження коефіцієнтів лінійної регресії що мають наступний вигляд:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}; \quad b = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x^2} = \frac{\overline{yx} - \bar{y} \cdot \bar{x}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}. \quad (2.5)$$

За аналогічною процедурою отримаємо рівняння для інших видів регресії.

Рівняння, яке описує теоретичну лінію гіперболічної регресії має вигляд:

$$y_x = a_0 + a_1 / x. \quad (2.6)$$

У формулі (2.7) наведено систему рівнянь, а у (2.8) виведено готові рівняння для знаходження коефіцієнтів:

$$\begin{cases} na + b \sum 1/x = \sum y; \\ a \sum 1/x + b \sum 1/x^2 = \sum y \frac{1}{x}. \end{cases} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{n \sum \frac{y}{x} - \sum \frac{1}{x} \sum y}{n \sum \frac{1}{x^2} - \left(\sum \frac{1}{x} \right)^2}; \\ a_0 &= \frac{1}{n} \sum y - \frac{1}{n} a_1 \sum \frac{1}{x}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Іншим видом регресії є експоненціальні функції, які однозначно характеризуються тим фактом, що швидкість росту такої функції (тобто її похідної) прямо пропорційна значенню функції та описується рівнянням:

$$y_x = e^{a_0 + a_1 x}. \quad (2.9)$$

Невідомі параметри a_0 і a_1 знаходять наступним способом:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{n \sum x \ln y - \sum x \sum \ln y}{n \sum x^2 - \left(\sum x \right)^2}; \\ a_0 &= \frac{1}{n} \sum \ln y - \frac{1}{n} a_1 \sum x. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Наступним видом регресії є модифікована експонента, в котрій постійні величини: a_0 має від'ємне значення, a_1 , - знаходиться в інтервалі від нуля до одиниці, а константа K називається асимптотою цієї функції, оскільки значення функції необмежено наближається до величини K (в даному випадку наближення відбувається знизу).

Можуть бути різноманітні варіанти цієї регресії, але на практиці найбільш часто зустрічається наведена нижче функція:

$$y_x = K + a_0 \times a_1^x. \quad (2.11)$$

Невідомі параметри a_0 і a_1 знаходять за наступною формулою:

$$a_1 = \frac{n \sum (x \ln |y - K|) - \sum x \sum \ln |y - K|}{n \sum x^2 - (\sum x)^2};$$

$$\ln |a_0| = \frac{1}{n} \sum \ln |y - K| - \frac{1}{n} \ln a_1 \sum x. \quad (2.12)$$

Показникова функція, що наведена у (2.13), не є ні непарною, ні парною, також не має нулів, а в залежності від коефіцієнта a_1 може на всьому діапазоні або зростати, або спадати.

$$y_x = a_0 \times a_1^x. \quad (2.13)$$

Параметри a_0 і a_1 знаходять наступним чином:

$$\ln a_0 = \frac{1}{n} \sum \ln y - \frac{1}{n} \ln a_1 \sum x;$$

$$\ln a_1 = \frac{n \sum (x \ln y) - \sum x \sum \ln y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}. \quad (2.14)$$

Логарифмічна функція є зворотною функцією до показової, тому графіки цих функцій симетричні відносно бісектриси першої і третьої координатних чвертей. Логарифмічна функція існує лише в додатних значеннях аргументу та має вигляд:

$$y_x = a_0 + a_1 \ln x. \quad (2.15)$$

Невідомі параметри a_0 і a_1 знаходять за наступними формулами:

$$a_1 = \frac{n \sum \ln xy - \sum \ln x \sum y}{n \sum (\ln x)^2 - (\sum \ln x)^2};$$

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum y - \frac{1}{n} a_1 \sum \ln x. \quad (2.16)$$

Нерідко залежність між змінними величинами виражається рівнянням параболи другого порядку, яка має вигляд:

$$y_x = a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2. \quad (2.17)$$

В даному випадку з'являється ще один додатковий параметр. Знаходження параметрів a_0 , a_1 і a_2 рівняння (2.17) задовольняє наступна система нормальних рівнянь:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum x + a_2 \sum x^2 = \sum y; \\ a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 + a_2 \sum x^3 = \sum xy; \\ a_0 \sum x^2 + a_1 \sum x^3 + a_2 \sum x^4 = \sum x^2 y. \end{cases} \quad (2.18)$$

Останнім видом нелінійної регресії розглянемо параболу третього порядку вигляду:

$$y_x = a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2 + a_3 x^3. \quad (2.19)$$

Для знаходження невідомих параметрів потрібно розв'язати наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum x + a_2 \sum x^2 + a_3 \sum x^3 = \sum y; \\ a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 + a_2 \sum x^3 + a_3 \sum x^4 = \sum xy; \\ a_0 \sum x^2 + a_1 \sum x^3 + a_2 \sum x^4 + a_3 \sum x^5 = \sum x^2 y; \\ a_0 \sum x^3 + a_1 \sum x^4 + a_2 \sum x^5 + a_3 \sum x^6 = \sum x^3 y. \end{cases} \quad (2.22)$$

Для розв'язку можна скористатися матричним способом, або через визначники системи D_1 та D_2 , що обчислюються за формулами:

$$\begin{aligned} D_1 &= (n \cdot \sum (x - x_{\text{сеп}})^4 - (\sum (x - x_{\text{сеп}})^2)^2); \\ D_2 &= (\sum (x - x_{\text{сеп}})^2 \cdot \sum (x - x_{\text{сеп}})^5 - (\sum (x - x_{\text{сеп}})^4)^2); \end{aligned} \quad (2.23)$$

Де $x_{\text{сеп}}$ – середнє значення ряду x .

Тоді формули для знаходження параметрів рівняння можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned}
a_0 &= \frac{1}{D_1} \cdot (\sum y \cdot \sum (x - x_{\text{сеп}})^4 - \sum (x - x_{\text{сеп}})^2 \cdot \sum y \cdot (x - x_{\text{сеп}})^2); \\
a_1 &= \frac{1}{D_2} \cdot (\sum (x - x_{\text{сеп}}) \cdot y \cdot \sum (x - x_{\text{сеп}})^5 - \sum (x - x_{\text{сеп}})^4 \cdot \sum (x - x_{\text{сеп}})^3 \cdot y); \\
a_2 &= \frac{1}{D_1} \cdot (n \cdot \sum (x - x_{\text{сеп}})^2 \cdot y - \sum (x - x_{\text{сеп}})^2 \cdot \sum y); \\
a_3 &= \frac{1}{D_2} \cdot (\sum (x - x_{\text{сеп}})^2 \cdot \sum (x - x_{\text{сеп}})^3 \cdot y - \sum (x - x_{\text{сеп}})^4 \cdot (x - x_{\text{сеп}}) \cdot y).
\end{aligned}
\tag{2.24}$$

2.3 Аналіз базових рівнів та моніторинг впровадження заходів з енергоефективності

Після отримання рівняння регресії потрібно дослідити взаємозв'язок між величинами. У випадку лінійної регресії використовують лінійний коефіцієнт парної кореляції r_{xy} , що може знаходитися в інтервалі від -1 до 1 включно, та котрий обчислюється за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\frac{1}{n} \sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\overline{yx} - \bar{y}\bar{x}}{\sigma_x \sigma_y},
\tag{2.25}$$

де σ_x, σ_y - середньоквадратичні відхилення величин x та y ;

$\text{cov}(x, y)$ - коваріація величин x та y .

Для нелінійної регресії взаємозв'язок між величинами визначають за допомогою індекса кореляції ρ_{xy} :

$$\rho_{xy} = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{\text{ост}}^2}{\sigma_n^2}} = \sqrt{1 - \frac{\sum (y - \hat{y}_x)^2}{\sum (y - \bar{y})^2}}.
\tag{2.26}$$

Коефіцієнт кореляції можна застосовувати до змінних, виміряних в шкалі інтервалів (і в шкалах з більш вузькою групою допустимих перетворень), але його не можна застосовувати при аналізі порядкових даних. Непараметричні рангові коефіцієнти Спірмена і Кендалла призначені для оцінки зв'язку порядкових змінних. Їх можна використовувати і в шкалах

з більш вузькою групою допустимих перетворень, наприклад, в шкалах інтервалів. Виходячи з теорії стійкості, одні і ті ж дані доцільно обробити різними способами і порівняти результати. Зокрема, доцільно розрахувати всі згадані вище коефіцієнти кореляції [40].

Для оцінки якості побудованої моделі регресії можна використати показник (коефіцієнт, індекс) детермінації $R^2 = \rho_{xy}^2$ або середню похибку апроксимації, що знаходиться за формулою:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y - \hat{y}}{y} \right| 100\%, \quad (2.27)$$

де \hat{y} – фактичне значення функції y .

Критерій Фішера використовується для перевірки значущості моделі в цілому. Для випадку регресії критерій Фішера пов'язаний з критерієм детермінації співвідношенням:

$$F_{fakt} = \frac{\sum \frac{(\hat{y} - \bar{y})^2}{m}}{\sum \frac{(y - \hat{y})^2}{n - m - 1}} = \frac{r_{xy}^2}{1 - r_{xy}^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m}, \quad (2.28)$$

де m - число параметрів при змінних.

Далі визначається максимально можливе значення критерію під впливом випадкових факторів при вільних степенях свободи, та порівнюється з розрахованим значенням. Якщо $F_{tabl} < F_{fakt}$, то отримане рівняння регресії визнається надійним і статично значимим.

Для того, щоб звести нелінійну модель до лінійної (лінізувати модель) та отримати багатофакторіальне рівняння, зазвичай за допомогою деяких перетворень змінних, нелінійну модель представляють у вигляді лінійного співвідношення між перетвореними змінними, оцінюють коефіцієнти цього співвідношення і потім за допомогою зворотного перетворення знаходять оцінки параметрів вихідної нелінійної моделі. Відразу потрібно пам'ятати,

що не всяка нелінійна модель може бути оцінена таким чином, в ряді випадків неможливо підібрати відповідне перетворення для лінізування моделі. У цьому випадку доводиться використовувати методи нелінійної оптимізації [41].

В таблиці 2.2 наведено основні види регресії та їх приведення до лінійного вигляду.

Таблиця 2.2 – Приведення регресій до лінійного вигляду

Вид регресії	Перехід до лінійного вигляду незалежної змінної	Перехід до лінійного вигляду залежної змінної
Гіперболічна регресія	$x' = 1/x$	$y' = y$
Експоненційна регресія	$x' = x; y' = \ln y.$	$x' = x; y' = \ln y.$
Модифікована експонента	$x' = x$	$y' = \ln y - K $
Степенева функція	$x' = \ln x; y' = \ln y.$	$x' = \ln x; y' = \ln y.$
Показникова функція	$x' = x; y' = \ln y.$	$x' = x; y' = \ln y.$
Логарифмічна функція	$x' = \ln x; y' = y.$	$x' = \ln x; y' = y.$

Побудова багатофакторіального рівняння регресії починається з вирішення питання про специфікацію моделі. Вона включає в себе два етапи: вибір факторів (незалежних змінних) і отримання аналітичного виразу рівняння регресії. Включення в багатофакторіальне рівняння регресії того чи іншого набору факторів пов'язано в першу чергу з уявленням дослідника про природу взаємозв'язку моделюючого показника з іншими явищами, що вивчаються. Фактори, що включаються у багатофакторне рівняння, повинні відповідати таким вимогам [42]:

1. Фактори повинні бути кількісно виражені. Якщо необхідно включити в рівняння якісний фактор, який не має кількісного представлення, то йому треба надати кількісне визначення.

2. Фактори не повинні бути мультиколінеарні і, тим більше, перебувати в точній функціональній залежності.

Включення в модель мультиколінеарності факторів потрібно уникнути, беручи до уваги наступні наслідки:

- ускладнюється інтерпретація параметрів багатфакторіальної регресії як характеристик дії факторів в «чистому» вигляді, так як фактори колінеарні;

- оцінки параметрів недостовірні, виявляють великі стандартні похибки і змінюються зі зміною обсягу спостережень (не тільки за величиною, а й за знаком), що робить модель непридатною для аналізу і прогнозування.

- насичення моделі надлишковими факторами призводить до статистичної незначущості параметрів регресії за критерієм Стюдента.

Таким чином, хоча теоретично регресійна модель дозволяє врахувати будь-яке число факторів, на практиці в цьому немає необхідності.

Коли буде розроблена надійний базовий рівень, залежність між фактичним споживанням та споживанням, передбаченим базовим рівнем, використовується для відстеження енергетичних показників. Різниця між фактичним та базовим споживанням може бути побудована на контрольній діаграмі (див. рис. 2.5) з верхньою та нижньою межами, встановленими для відображення нормальних змін енергоспоживання [43].

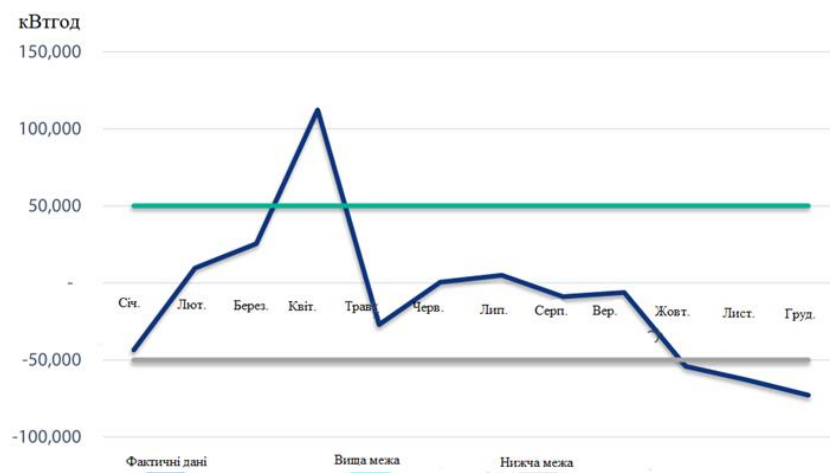


Рисунок 2.5 – Контрольна діаграма

У випадку лінійного однофакторного рівняння регресії верхня та нижня межі можуть бути визначені за наступною формулою:

$$W(p) = W_{розр}(p) \pm T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right) \cdot S_e \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(X_{cp} - X(p))^2}{N \cdot D(X)}} \quad (2.29)$$

де $T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right)$ - коефіцієнт розподілу Стюдента при двосторонній ймовірності α і кількості ступенів свободи f_e

N - число одиниць сукупності;

X_{cp} - середнє значення незалежної змінної X ;

$X(p)$ - поточне значення незалежної змінної X ;

$D(X)$ - дисперсія за вибіркою індивідуальних значень незалежної змінної X .

У випадку побудови довірчого інтервалу для багатofакторіального рівняння використовують наступну формулу:

$$W(p) = W_{розр}(p) \pm T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right) \cdot S_e \cdot \sqrt{[X(p)] \cdot [D] \cdot [X(p)^{-T}]}, \quad (2.30)$$

де $[X(p)]$ - матриця значень незалежних факторів, які були обрані;

$[X(p)^{-T}]$ - транспонована матриця $[X(p)]$;

$[D]$ - коваріаційно-дисперсійна матриця параметрів.

Якщо згадана вище різниця відхиляється вище верхньої межі, то це вказує на ненормальну подію, причини якої треба виявити та виправити. Якщо вона відхиляється нижче нижньої межі, то також потрібно знайти причини поліпшення працездатності та побачити, чи можуть обставини, які її спричинили, повторитися та стандартизуватися як звичайна практика. На рисунку квітень є періодом низької ефективності, який потребує дослідження

для запобігання повторення, тоді як грудень - періодом хороших енергетичних показників, що також заслуговує на дослідження.

Для виявлення значних подій, що впливають на енергетичні показники може бути проаналізований графік *cumulative sum* (*CUSUM*). Він складається з прямих ділянок, розділених кутами; кожен кут асоціюється зі зміною продуктивності, а кожен прямий відрізок асоціюється з часом, коли продуктивність стабільна.

Основні вимоги щодо застосування *CUSUM* - карт наступні [44]:

1) результати дослідження повинні бути отримані в такій формі, щоб будь-яка чисельна різниця між двома представленими значеннями залежності мала однакову розмірність на всьому представленому інтервалі даного показника;

2) послідовність точок на карті повинна буди впорядкована за правилом, що базується на нормальній роботі процесу. Спостереження можуть бути проведені послідовно в часі або в порядку надходження одиниць продукції, утворюючи природну послідовність, наприклад, спостереження за показником якості продукції або управлінням процесу, а також впорядковані відповідно до значень деякої допоміжної змінної. Тоді *CUSUM* - карта - це метод дослідження співвідношень між значеннями змінних

На рис. 2.6 зображено *CUSUM* різниці між фактичним споживанням та базовою лінією, і ми бачимо, що фактичні показники були гіршими за показники базового рівня протягом першого кварталу. Потім було поступове покращення протягом II кварталу. За цим пішов період, який був значно кращим за базовий рівень до листопада. Проте у грудні року сталося зворотна тенденція, і енергетичні показники знову були гіршими, ніж базові, на що вказує той факт, що лінія знову рухається вгору.

Після ефективного контролю споживання енергії, зібрану інформацію слід використовувати для встановлення цілей. На практиці врахування

відповідних змінних за допомогою регресійного аналізу часто є найбільш ефективним методом розробки цілей.

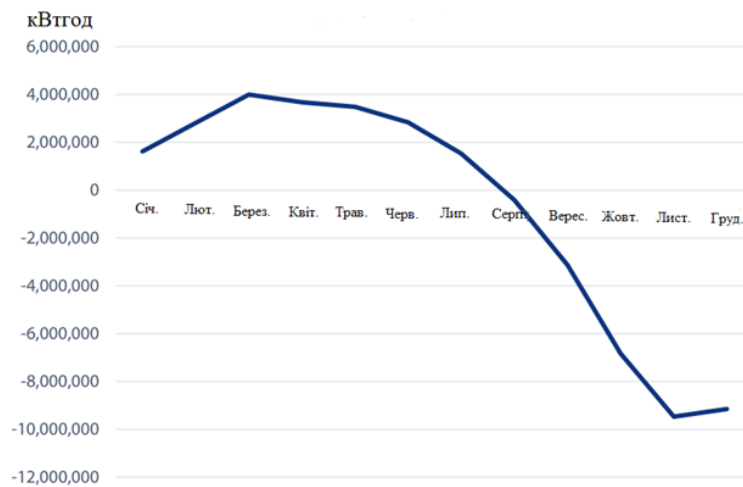


Рисунок 2.6 – *CUSUM* різниці між фактичним споживанням та базовим рівнем

Для аналізу ефективності провадження заходів з енергоефективності можна використовувати контрольні карти Шухарта (ККШ) та графіки *CUSUM* із застосуванням *V*-масок.

Контрольна карта - це графічний засіб, що використовує статистичні підходи, важливість яких для управління виробничими процесами була вперше показана доктором У. Шухартом в 1924 р.

Принципи побудови контрольної карти Шухарта охоплюють коло понять, пов'язаних зі стабілізацією виробничого процесу, оцінюванням ефективності впровадження енергозберігаючих заходів, а реалізація цих принципів сприяє взаємозв'язку різних напрямків господарської діяльності. Якщо єдиним джерелом варіації параметрів процесу служать випадкові чинники, то на графіку, що показує цей процес у часі, буде помітний випадковий характер поведінки даних[45].

Згідно статистичної теорії, можна виходити з того факту, що якісні ознаки підпорядковуються біноміальному закону розподілу, а кількісні - нормальному. При контролі за якісною ознакою, враховуючи, що ймовірність

появи дефекту менш 0,10, як наближення до біноміального розподілу використовують розподіл Пуассона. Знання характеру прояви випадкової варіації налагодженого процесу лежить в основі теорії контрольних карт, тому якщо дані не поведуться випадковим чином, то це означає, що присутні не випадкові фактори [46].

ККШ для кількісних даних мають наступні переваги:

- більшість процесів і їх параметри мають характеристики, які можуть бути представлені у кількісному вигляді, так що застосування таких карт потенційно широка;
- виміряне чи отримане значення містить більше інформації, ніж логічне твердження;
- характеристики процесу можуть бути проаналізовані безвідносно встановлених вимог. Карти запускаються разом з процесом і дають незалежну картину того, на що процес здатний. Після цього характеристики процесу можна порівняти відповідно до встановлених вимог;
- незважаючи на те, що отримання кількісних даних дорожче, ніж альтернативних, розміри підгруп для кількісних даних майже завжди набагато менше і при цьому відображають більш інформаційну картину. Це дозволяє знизити кінцеву вартість встановлення базового рівня, впровадження енергозберігаючих заходів та оцінювання їх ефективності.

ККШ є невід'ємною частиною промислової статистики та активно використовується у виробничих цілях. Реалізація методів промислової статистики - досить трудомісткий процес по необхідним ресурсам і часу. Активне використання пакетів прикладних програм протягом останніх 20 років призвело до вирішення ряду проблем. На даний момент методи промислової статистики активно використовуються у виробничій сфері, інженерних і наукових розробках [47].

У виробничій практиці застосовуються такі види контрольних карт, як карта середніх арифметичних значень і розмахів(застосовується в разі контролю за кількісною ознакою), а також карта індивідуальних значень

(карта застосовується в разі необхідності швидкого виявлення непомічених факторів або в разі, коли за один день або за тиждень було вироблено тільки одне спостереження). Інші види карт застосовуються при оцінюванні дефектності продукції, тому їх характеристики буде пропущено.

Альтернативою розглянутих видів карт для управління процесом з вимірюваними даними є карти медіан. Вони в результаті мають аналогічні висновки та несуть в собі певні переваги. Оскільки такі карти прості в застосуванні і не вимагають великих обчислень, це може полегшити їх впровадження у виробництво.

На карти наносять значення медіан поряд з індивідуальними значеннями, і тому карта медіан дає розкид результатів процесу і детальну картину варіацій. Контрольні межі для карт медіан обчислюють двома способами: за допомогою розрахунку медіан від медіан підгруп і середніх розмахів (останній спосіб простіше і зручніше) [48].

Але слід зазначити, що карта медіан з межами 3σ більш повільно реагує на вихід процесу зі стану статистичної керованості, ніж карта Шухарта.

З питання про сферу застосування ККШ існує широко поширена думка про те, що контрольний показник процесу повинен мати нормальний розподіл, і в тимчасовому ряді контрольного показника має бути відсутня автокореляція. Також табличні розрахункові коефіцієнти, використовувані для обчислення контрольних меж карт, отримані в припущенні про нормальний розподіл контрольного показника процесу. Звідси виникло переконання, що ККШ (як, втім, і контрольні карти інших типів) застосовні тільки для процесів з контрольним показником, що має нормальний розподіл. У стандарті, який регламентує застосування контрольних карт Шухарта [46], відзначається припущення про нормальний розподіл вихідних даних процесу, але при цьому допускається невелике відхилення від нормального розподілу без уточнення методики розрахунку цього відхилення і його допустимої величини.

Основна перевага ККШ в тому, що вони дозволяє розумним чином розбити варіабельність даних на дві компоненти, зумовлені різними причинами:

- власне системну відповідальність менеджменту (випадкові причини);
- причини, які можна чимось пояснити. Вони виявляються характерними для деякої події, причину якого можна виявити та пояснити.

Тобто контрольна карта - це графік, який виконує роботу з розділення варіабельності або мінливості на варіабельність, викликану загальними (випадковими) і спеціальними (особливими) причинами. Вона складається з графіка ходу самого процесу і трьох додаткових ліній: центральної лінії, верхньої (ВКМ) і нижньої (НКМ) контрольних меж.

$$\text{ВКМ(НКМ)} = \Delta X_{\text{сер}} \pm \sigma_{\Delta X} A_3, \quad (2.31)$$

де $\Delta X_{\text{сер}}$ — середнє значення функції;

$\sigma_{\Delta X}$ — стандартне відхилення, визначене по вихідним даним;

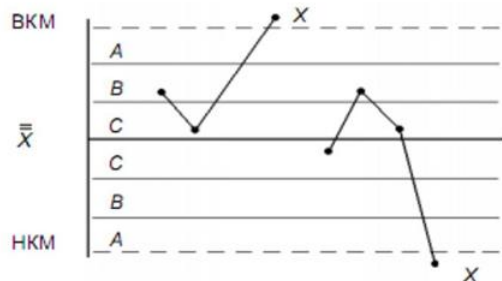
A_3 - таблична величина, яка залежить від кількості спостережень, протягом якого ведеться моніторинг.

Запропоноване Шухартом правило аналізування цього графіку дуже просто: якщо всі точки знаходяться між верхньою і нижньою контрольними межами, то спеціальні причини відсутні, і процес за визначенням вважають статистично керованим (стабільним), що означає його передбачуваність. Якщо є точки, що виходять за верхню чи нижню контрольні межі, то спеціальні причини присутні.

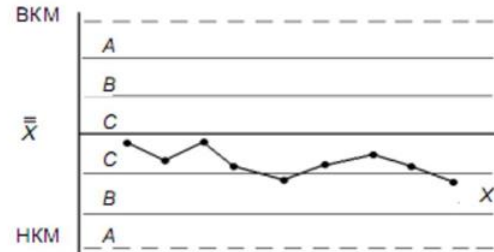
Також для інтерпретації ходу процесу по картах Шухарта існує набір з восьми додаткових критеріїв, який схематично показаний на рис. 2.7.

Цей набір додаткових засобів аналізу можна прийняти за основу, але при моніторингу потрібно звертати увагу на будь-яке незвичайне розміщення точок, яке може бути результатом особливих (невипадкових) причин. Тому ці критерії слід розглядати тільки як часткові варіанти, коли може бути прояв

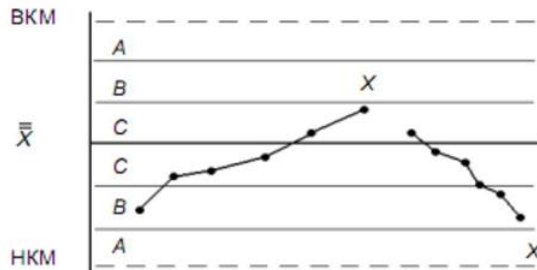
відхилення від базового рівня. Поява будь-якого з випадків, описаних в цих умовах, є вказівкою на відхилення від нормованого значення, яке повинно бути проаналізовано та визначено ефективності впровадження заходів.



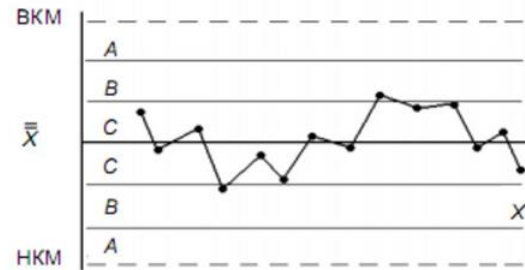
Критерій 1. Одна точка поза межами зони А



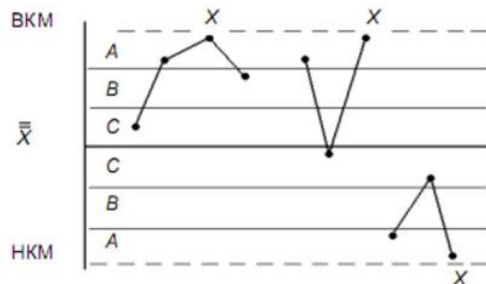
Критерій 2. Дев'ять точок підряд у зоні С або по одну сторону від центральної лінії



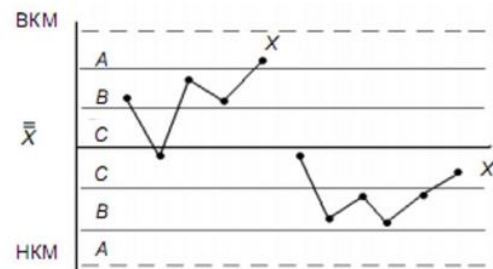
Критерій 3. Шість підряд зростаючих чи спадаючих точок



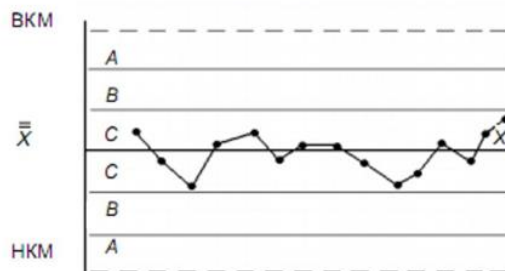
Критерій 4. Чотирнадцять поперемінно зростаючих та спадаючих точок



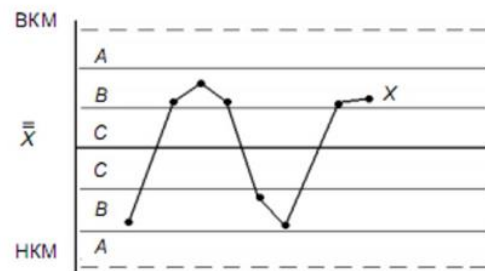
Критерій 5. Дві з трьох послідовних точок у зоні А чи зовні зони А



Критерій 6. Чотири з п'яти послідовних точок у зоні В чи зовні зони В



Критерій 7. П'ятнадцять послідовних точок у зоні С вище та нижче центральної лінії



Критерій 8. Вісім послідовних точок з обох сторін центральної лінії та жодної у зоні С

Рисунок 2.7 – Критерії для оцінювання особливих причин [46]

CUSUM призначена для перевірки процесу на відхилення найчастіше від середнього арифметичного значення, що рівному деякому опорному значенню. Опорне значення часто називають цільовим значенням або метою. Для більш складних процедур *CUSUM* ці два поняття - цільове і опорне значення слід розрізняти. З кожного отриманого значення показника якості віднімають опорне значення і отримують значення кумулятивних сум цих різниць, які наносять на карту [49].

Існують три різних форми масок, вони ідентичні за принципом побудови та дії: повна *V*-маска, усічена *V*-маска і паралельна маска. Найбільш поширена з них - усічена *V*-маска. Схематичне зображення усіченої *V*-маски або шаблону *V*-маски наведено на рис. 2.8

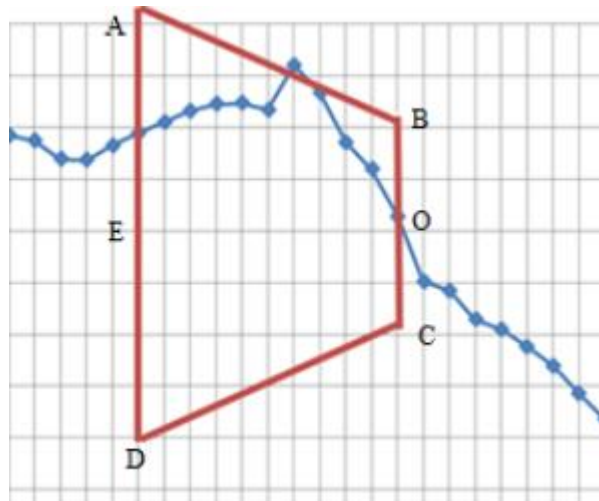


Рисунок 2.8– Усічена *V*-маска *CUSUM* - карти і основні пропорції для неї

Вона містить точку початку відліку, позначену *O*, два вертикальні відрізки *OB* і *OC* довжиною 5σ (вони називаються інтервалами рішень) та два похилі відрізки *BA* і *CD* (лінії дозволу), що охоплюють графік. Розмір відрізка *EO* дорівнює десяти інтервалах спостережень, а вертикальні відрізки *EA* і *ED* рівні 10σ [50].

Висновки до розділу 2

В цьому розділі були розглянуто методику побудови базових рівнів енергоспоживання. Цей базовий рівень є нормою, за якою проводиться аналіз, тому він повинен базуватися на даних періоду, коли рівень виробництва та споживання енергії є відносно нормальними.

Також було досліджено основні види регресій, що можуть використовуватися при визначенні базового рівня. Вибір виду функціональної залежності доцільно проводити ймовірно статистичним методом за допомогою кореляційного аналізу. В результаті проведення такого аналізу визначається вид функції, за допомогою якої найбільш якісно описується залежність між параметрами енергоспоживання і зовнішнім впливаючим чинником.

Для аналізу ефективності провадження заходів з енергоефективності можна використовувати контрольні карти Шухарта (ККШ) та графіки *CUSUM* із застосуванням *V*-масок.

Тому у цьому розділі було розглянуто основні вимоги до вихідних даних та до побудови контрольних карт, наведено основні критерії для інтерпретації ходу процесу по картах Шухарта.

CUSUM призначена для перевірки процесу на відхилення найчастіше від середнього арифметичного значення, рівному деякому опорному значенню. У виробничій практиці застосовуються такі види контрольних карт, як карта середніх арифметичних значень і розмахів, а також карта індивідуальних значень.

3 МОНІТОРИНГ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМОЮ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ

3.1 Загальна характеристика та аналіз енергоспоживання системи стисненого повітря

Стиснене повітря використовується на багатьох промислових підприємствах та в пневматичному обладнанні різного призначення - машини, механізми, дозатори, пристрої захоплення і інструменти. Більшість промислових підприємств до теперішнього часу експлуатують централізовану систему постачання стисненим повітрям, застосовуючи єдину компресорну станцію (КС) з протяжною і розгалуженою повітряною мережею магістральних і цехових повітропроводів. Протяжність мереж централізованих систем постачання стисненим повітрям змінюється від сотень метрів до кількох кілометрів, що обумовлює наявність значних витрат на їх утримання.

В умовах конкуренції на внутрішньому і зовнішніх ринках підприємства змушені шукати можливості зниження собівартості виробництва продукції і надання послуг, пов'язані з впровадженням заходів з енергоефективності.

Спочатку, в 70-80-ті роки ХХ ст., при проектування централізованих систем постачання стисненим повітрям для промислових підприємств керувалися об'єктивними причинами, зумовленими рівнем розвитку і автоматизації компресорних установок, що володіють наступними перевагами [51]:

- зниження питомої витрати електроенергії на привід компресорів при підвищенні їх продуктивності;
- збільшення моторесурсу компресорних установок з ростом їх продуктивності;

- зниження витрат на обслуговування КС при зменшенні кількості компресорів (витрати на технічне обслуговування, ремонт, оплату праці обслуговуючого персоналу);
- рівномірне завантаження компресорів централізованої КС за рахунок згладжування навантажень від численних споживачів стисненого повітря;
- забезпечення маневреності на покриття пікових і малих навантажень централізованої КС при збереженні високої енергетичної ефективності роботи окремих компресорів;
- зниження трудомісткості технічного обслуговування за рахунок уніфікації компресорів, що встановлюються на централізованій КС (однотипні запасні частини, інструменти та приладдя, мастильні матеріали);
- менш витратна автоматизація роботи великої КС на існуючій в той час релейній базі.

У переважній більшості централізовані КС обладнані двоступінчастими поршневыми компресорними установками продуктивністю (за умовами всмоктування) від 20 до 200 $\text{м}^3/\text{хв}$ і тиском до 0,8 МПа, що працюють з водяним охолодженням [51]. Ці компресорні установки мають відносно низьку питому витрату електроенергії на привід - 0,10-0,12 (кВт·год)/ м^3 , що і визначило їх широке застосування.

Однак в умовах неухильного зростання цін на енергоносії досвід експлуатації централізованих систем постачання стисненим повітрям промислових підприємств виявив такі недоліки:

- витоки стисненого повітря в розгалуженій повітряній мережі досягають 25-35% від продуктивності КС в залежності від протяжності, розгалуженості і технічного стану повітряного мережі. Це обумовлює аналогічну в процентному вираженні перевитрату електроенергії на КС;
- підтримання справного стану протяжної повітряної мережі промислового підприємства вимагає великих щорічних витрат (на ремонт, ущільнення, гідравлічні випробування, дренаж конденсату і т. д.);
- значний річний фонд заробітної плати обслуговуючого персоналу КС;

- питома витрата електроенергії на виробництво стисненого повітря зростає за рахунок власних потреб КС (освітлення машинного залу і побутових приміщень, вентиляція, насоси оборотного водопостачання).

Беручи до уваги ці недоліки, потрібно постійно проводити моніторинг базової лінії енергоспоживання та впроваджувати заходи з енергоефективності.

У табл. 3.1 наведено вихідні енергоспоживання КС протягом одного місяця та представлено параметри технологічного процесу, що можуть впливати на це споживання (витрата повітря, температура та тиск). У табл. 3.2 представлено споживання електричної енергії тією ж КС після впровадження заходів з енергоефективності.

Таблиця 3.1– Дані компресорної станції за звітній період

Дата	L, м ³ /доба	p, кПа	t, °C	Споживання е.е., Вт·год/доба
01.12	189216	4,000	28,0	17512,00
02.12	213980	6,300	30,0	18005,30
03.12	217675	6,300	30,0	17769,80
04.12	176453	3,780	30,0	13095,90
05.12	145999	3,030	30,0	10629,50
06.12	157015	3,200	27,0	12282,70
07.12	161745	3,550	22,0	15805,10
08.12	217982	4,800	22,0	18968,70
09.12	160960	4,700	23,0	18893,40
10.12	220108	4,500	23,0	19811,80
11.12	164555	2,630	23,0	18679,10
12.12	217750	4,150	23,0	12599,90
13.12	165352	2,630	18,0	14164,30
14.12	176156	3,230	14,0	17992,20
15.12	201484	3,230	14,0	16204,70
16.12	243195	6,100	14,0	17393,00
17.12	291367	6,100	11,0	17606,60
18.12	224455	3,580	11,0	19315,70
19.12	211778	3,550	11,0	17440,10

Продовження таблиці 3.1

20.12	214575	3,380	13,0	18901,70
21.12	239012	4,000	18,0	21799,10
22.12	211002	4,450	18,0	18595,50
23.12	198609	3,850	20,0	16374,40
24.12	136065	3,070	20,0	15181,60
25.12	98400	2,530	20,0	7814,60
26.12	91517	2,250	20,0	10505,40
27.12	97797	2,430	20,0	10589,30
28.12	110489	2,600	14,0	10300,20
29.12	113753	2,600	13,0	10891,70
30.12	113445	2,600	13,0	12579,90
31.12	148536	3,600	13,0	15207,10

Таблиця 3.2 – Дані компресорної станції після впровадження заходів з енергоефективності

Дата	L, м ³ /доба	p, кПа	t, °C	Споживання е.е., Вт·год/доба
01.01	120129	2,480	20,0	10857
02.01	112885	2,050	20,0	10916
03.01	118641	2,160	18,0	12584
04.01	139947	2,330	10,0	12798
05.01	219149	4,900	10,0	16310
06.01	226530	3,430	10,0	18398
07.01	210235	3,220	10,0	18884
08.01	209281	3,100	10,0	18395
09.01	189594	3,000	10,0	17206
10.01	191935	2,760	10,0	17310
11.01	215672	4,000	17,0	18572
12.01	196800	3,300	20,0	16696
13.01	201521	3,400	19,0	16467
14.01	134633	3,600	19,0	17426
15.01	207910	3,730	19,0	14717
16.01	177721	2,900	19,0	10399
17.01	180014	2,780	19,0	12674
18.01	209079	3,230	25,0	12826

Продовження таблиці 3.2

19.01	221941	5,350	35,0	11867
20.01	159494	2,600	35,0	13645
21.01	176782	3,000	41,0	12665
22.01	181402	3,400	41,0	14715
23.01	207689	3,820	41,0	15582
24.01	167274	2,580	41,0	13209
25.01	197341	3,600	38,0	14217
26.01	197363	3,600	38,0	14436
27.01	186670	4,000	33,0	12519
28.01	120742	4,000	33,0	11596
29.01	117707	3,600	38,0	11962
30.01	146959	4,130	38,0	12619
31.01	184025	4,400	38,0	14380

Графічне представлення вихідних даних за звітний період показано на рис. 3.1 - 3.3.

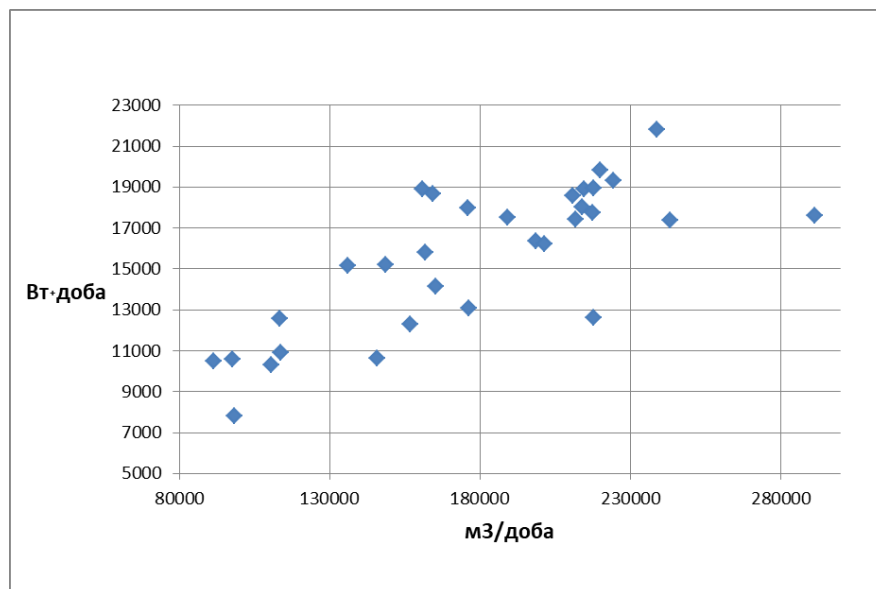


Рисунок 3.1– Графік залежності споживання електричної енергії КС від питомої витрати повітря

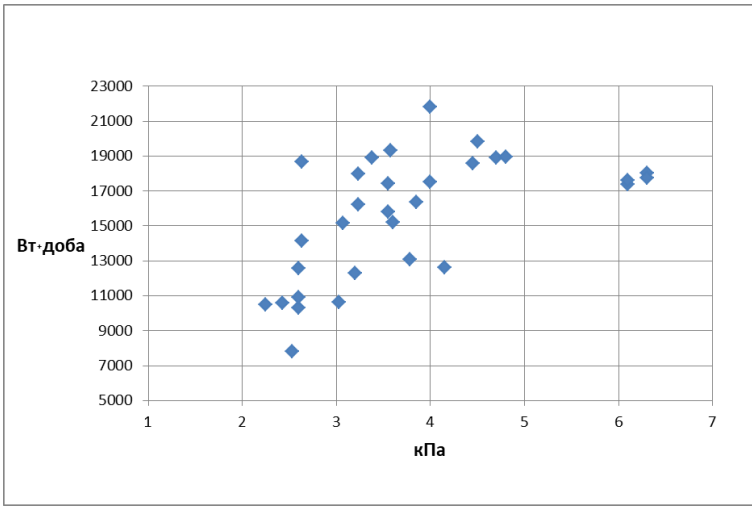
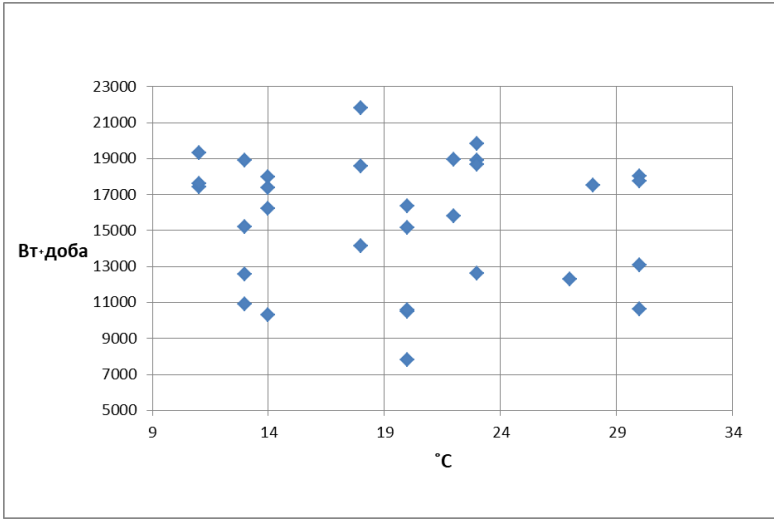


Рисунок 3.2 – Графік залежності споживання електричної енергії
КС від тиску повітря



Розрахуємо середню величину продуктивності і середню споживану потужність агрегату за формулами:

$$\bar{P}_i = \frac{W_i}{T_{\text{роб}}}, \quad (3.1)$$

де $T_{\text{роб}}$ - години роботи агрегату, $T_{\text{роб}} = 24$ год.

$$\bar{A}_i = \frac{Q_i}{T_{\text{роб}}}. \quad (3.2)$$

Тоді за формулами (3.1) та (3.2) обчислимо середні значення для першого дня.

$$P_1 = \frac{4935}{24} = 205,63 \text{ Вт},$$

$$A_1 = \frac{189216}{24} = 3813,2 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Для інших днів проведемо аналогічний розрахунок, дані зведемо у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Статистичні характеристики агрегату

Номер доби	L_i , м ³ /доба	W_i , Вт·год за добу	A_i , м ³ /год	P_i , Вт
1	189216	17512,00	7884,0	437,73
2	213980	18005,30	8915,8	441,22
3	217675	17769,80	9069,8	325,61
4	176453	13095,90	7352,2	429,18
5	145999	10629,50	6083,3	524,16
6	157015	12282,70	6542,3	453,82
7	161745	15805,10	6739,4	632,57
8	217982	18968,70	9082,6	442,90

Продовження таблиці 3.3

9	160960	18893,40	6706,7	633,63
10	220108	19811,80	9171,2	511,78
11	164555	18679,10	6856,5	787,23
12	217750	12599,90	9072,9	658,55
13	165352	14164,30	6889,7	778,30
14	176156	17992,20	7339,8	590,18
15	201484	16204,70	8395,2	749,68
16	243195	17393,00	10133,1	545,66
17	291367	17606,60	12140,3	729,67
18	224455	19315,70	9352,3	682,27
19	211778	17440,10	8824,1	675,20
20	214575	18901,70	8940,6	774,81
21	239012	21799,10	9958,8	726,67
22	211002	18595,50	8791,8	750,22
23	198609	16374,40	8275,4	787,57
24	136065	15181,60	5669,4	740,41
25	98400	7814,60	4100,0	525,00
26	91517	10505,40	3813,2	790,36
27	97797	10589,30	4074,9	825,49
28	110489	10300,20	4603,7	804,82
29	113753	10891,70	4739,7	908,30
30	113445	12579,90	4726,9	724,71
31	148536	15207,10	6189,0	733,61

За формулами (2.1)- (2.24) визначимо параметри рівнянь регресій, що були розглянуті у другому розділі. В якості незалежної змінної використаємо витрату повітря. А за формулами (2.25)- (2.27) визначимо вид базової ліній, що найкраще описує залежність.

Результати розрахунків наведені у табл. 3.4 та 3.5 відповідно.

Таблиця 3.4 - Розрахункові значення електроспоживання для різних видів регресії при параметрі A

A , $\text{м}^3/\text{год}$ $\cdot 10^{-3}$	Лінійна регр. $P_{\text{розр.}i}$	Квадра тична регр. $P_{\text{розр.}i}$	Кубіч на регр. $P_{\text{розр.}i}$	Степе нева регр. $P_{\text{розр.}i}$	Показ никова регр. $P_{\text{розр.}i}$	Логар ифміч на регр. $P_{\text{розр.}i}$	Гіперб олічна регр. $P_{\text{розр.}i}$	Експо ненція льна регр. $P_{\text{розр.}i}$
3,813	447,9	379,8	390,3	412,2	447,5	402,2	361,6	447,4
4,075	462,5	408,7	414,8	431,2	458,7	428,4	403,5	458,6
4,100	463,9	411,4	417,1	433,0	459,8	430,8	407,3	459,7
4,604	491,9	463,8	463,2	468,5	482,3	476,5	473,8	482,2
4,727	498,7	475,9	474,2	477,0	488,0	486,9	487,9	487,9
4,740	499,4	477,2	475,3	477,9	488,6	488,0	489,3	488,5
5,669	551,1	561,1	554,4	539,7	533,7	558,6	575,6	533,5
6,083	574,1	594,0	587,1	566,2	555,1	586,4	605,5	554,9
6,189	580,0	601,9	595,1	572,9	560,7	593,2	612,5	560,5
6,542	599,6	627,2	621,1	594,9	579,8	615,1	634,2	579,6
6,707	608,7	638,3	632,6	605,0	588,9	624,9	643,6	588,7
6,739	610,5	640,5	634,9	607,0	590,8	626,8	645,4	590,6
6,856	617,0	648,1	642,8	614,2	597,4	633,6	651,7	597,2
6,890	618,9	650,2	645,1	616,2	599,2	635,5	653,4	599,0
7,340	643,9	677,0	673,8	643,3	625,4	660,5	675,6	625,2
7,352	644,6	677,7	674,5	644,0	626,1	661,1	676,2	625,9
7,884	674,1	705,1	704,5	675,3	658,6	688,7	699,1	658,3
8,275	695,9	722,3	723,7	697,9	683,5	707,8	714,0	683,2
8,395	702,5	727,1	729,1	704,8	691,3	713,4	718,3	691,0
8,792	724,6	741,4	745,0	727,2	717,9	731,6	731,7	717,5

Продовження таблиці 3.4

8,824	726,4	742,4	746,1	729,0	720,1	733,1	732,7	719,8
8,916	731,5	745,3	749,4	734,2	726,4	737,2	735,7	726,0
8,941	732,9	746,0	750,2	735,6	728,1	738,3	736,4	727,8
9,070	740,0	749,8	754,4	742,8	737,1	743,9	740,4	736,7
9,073	740,2	749,9	754,5	743,0	737,3	744,1	740,5	736,9
9,083	740,7	750,2	754,8	743,5	738,0	744,5	740,8	737,6
9,171	745,7	752,6	757,4	748,4	744,2	748,3	743,4	743,9
9,352	755,7	757,2	762,4	758,4	757,1	756,0	748,7	756,7
9,959	789,4	768,6	774,1	791,5	802,0	780,8	764,9	801,6
10,13	799,1	770,8	775,9	800,9	815,4	787,6	769,2	815,0
12,14	910,6	760,9	744,6	905,6	986,5	858,9	809,9	986,0
$a_0=$	236,05	-166,1	24,16	165,95	311,54	-125,7	1015,2	5,74
$a_1=$	55,57	173,75	90,88	0,679	1,1	394,4	2492,5	0,095
$a_2=$		-8,02	3,154					
$a_3=$			-0,474					

Таблиця 3.5– Визначення виду базового рівня при параметрі A

	Лінійна регр.	Квадра тична регр.	Кубіч на регр.	Степе нева регр.	Показ никова регр.	Логар ифміч на регр.	Гіперб олічна регр.	Експо ненція льна регр.
D_A	8706,5	7139,0	7106,4	8388,6	10254	7665,7	7420,4	10253
\bar{A} , %	12,10	11,08	10,94	11,63	12,42	11,52	11,51	12,42
r_A , ρ_A	0,775	0,820	0,821	0,785	0,728	0,806	0,813	0,728
R^2	0,601	0,673	0,675	0,616	0,531	0,649	0,660	0,531

Графічні представлення отриманих результатів показано на рис. 3.4.

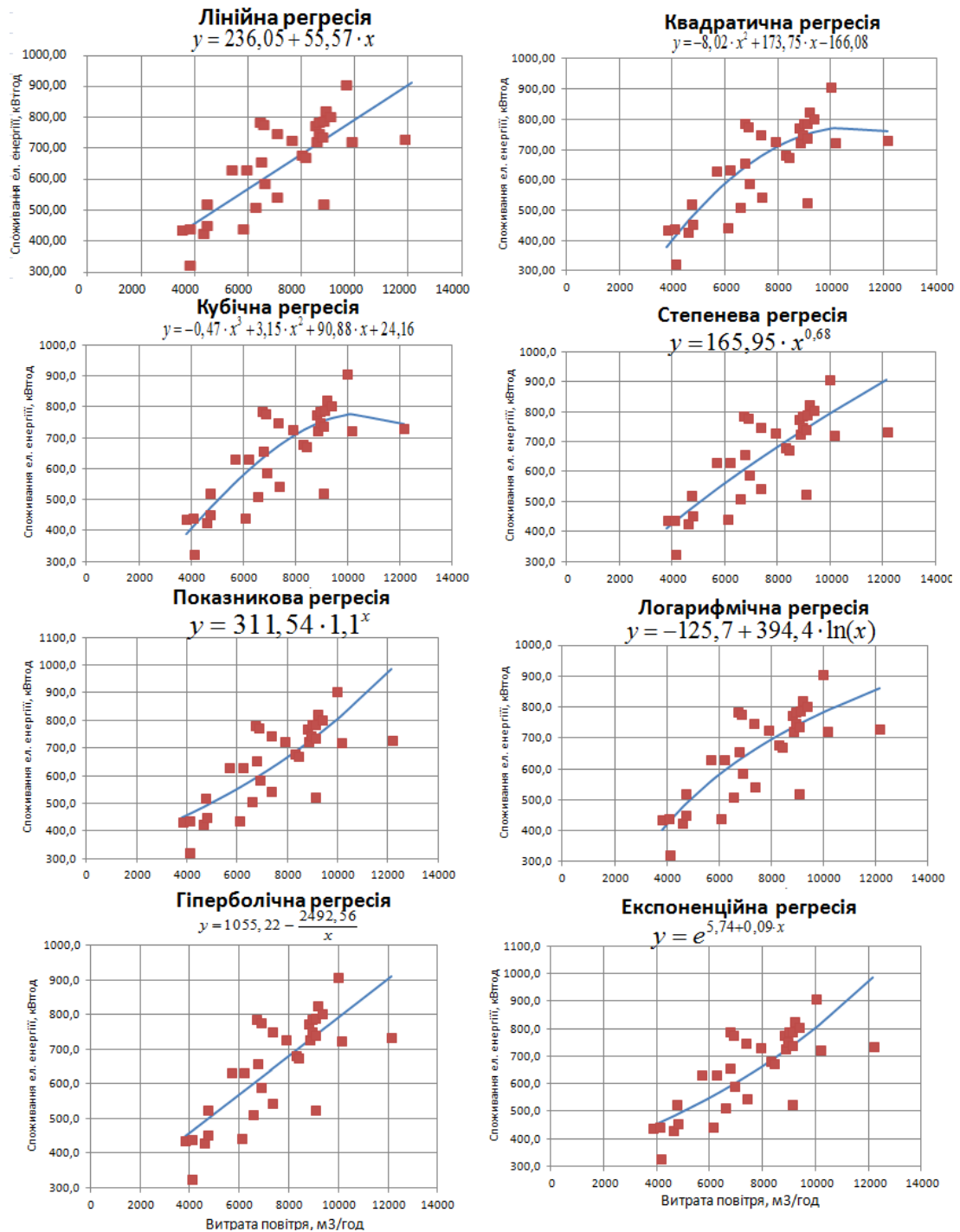


Рисунок 3.4– Графічне представлення однофакторіальних регресій при параметрі A

Проаналізувавши результати, обираємо кубічну регресію, оскільки при даній характеристиці маємо найменшу середню похибку апроксимації $A_A = 10,94\%$ та найбільший індекс кореляції $r_A = 0,821$.

Аналогічні розрахунки проведемо для решти технологічних параметрів (температури та тиску). Результати розрахунків зведемо у табл. 3.6-3.9.

Таблиця 3.6- Розрахункові значення електроспоживання для різних видів регресії при параметрі p

p , кПа	Лінійна регр. $P_{\text{розр.}i}$	Квадра тична регр. $P_{\text{розр.}i}$	Кубіч на регр. $P_{\text{розр.}i}$	Степе нева регр. $P_{\text{розр.}i}$	Показ никова регр. $P_{\text{розр.}i}$	Логар ифміч на регр. $P_{\text{розр.}i}$	Гіперб олічна регр. $P_{\text{розр.}i}$	Експо ненція льна регр. $P_{\text{розр.}i}$
2,25	539,13	426,57	412,71	486,53	522,29	498,13	453,59	522,30
2,43	552,19	470,49	464,16	507,59	534,14	522,76	494,90	534,15
2,53	559,45	493,67	490,68	518,99	540,84	535,67	515,31	540,85
2,60	564,53	509,37	508,40	526,85	545,58	544,40	528,66	545,59
2,60	564,53	509,37	508,40	526,85	545,58	544,40	528,66	545,59
2,60	564,53	509,37	508,40	526,85	545,58	544,40	528,66	545,59
2,63	566,70	515,97	515,77	530,18	547,62	548,08	534,16	547,63
2,63	566,70	515,97	515,77	530,18	547,62	548,08	534,16	547,63
3,03	595,73	596,40	602,48	573,17	575,60	593,39	597,14	575,61
3,07	598,63	603,67	610,00	577,32	578,48	597,59	602,54	578,49
3,20	608,06	626,34	633,06	590,66	587,93	610,87	619,14	587,94
3,23	610,24	631,36	638,09	593,70	590,13	613,85	622,78	590,14
3,23	610,24	631,36	638,09	593,70	590,13	613,85	622,78	590,14
3,38	621,13	655,28	661,62	608,72	601,26	628,38	640,02	601,27
3,55	633,46	680,00	685,16	625,40	614,14	644,09	657,80	614,14
3,55	633,46	680,00	685,16	625,40	614,14	644,09	657,80	614,14
3,58	635,64	684,10	688,97	628,30	616,44	646,78	660,76	616,44
3,60	637,09	686,79	691,46	630,23	617,97	648,56	662,71	617,98
3,78	650,15	709,42	711,96	647,39	631,99	664,18	679,30	632,00

Продовження таблиці 3.6

3,85	655,23	717,45	719,02	653,96	637,53	670,05	685,34	637,54
4,00	666,12	733,22	732,50	667,87	649,55	682,29	697,56	649,56
4,00	666,12	733,22	732,50	667,87	649,55	682,29	697,56	649,56
4,15	677,00	747,02	743,84	681,55	661,81	694,07	708,90	661,82
4,45	698,77	768,69	760,50	708,25	687,02	716,41	729,28	687,02
4,50	702,40	771,54	762,54	712,62	691,31	719,99	732,41	691,32
4,70	716,91	780,73	768,77	729,89	708,75	733,91	744,28	708,76
4,80	724,17	784,01	770,77	738,40	717,64	740,65	749,84	717,65
6,10	818,50	746,90	745,09	842,56	843,83	817,36	805,55	843,84
6,10	818,50	746,90	745,09	842,56	843,83	817,36	805,55	843,84
6,30	833,01	728,05	735,20	857,66	865,13	827,69	812,08	865,13
6,30	833,01	728,05	735,20	857,66	865,13	827,69	812,08	865,13
$a_0=$	375,86	-362,09	-707,1	311,31	394,6	238,57	1011,2	5,977
$a_1=$	72,56	449,12	723,26	0,55	1,133	320,08	1254,7	0,124
$a_2=$		-43,82	-112,4					
$a_3=$			5,38					

Таблиця 3.7 – Визначення виду базового рівня при параметрі p

	Лінійна регр.	Квадра тична регр.	Кубіч на регр.	Степе нева регр.	Показ никова регр.	Логар ифміч на регр.	Гіперб олічна регр.	Експо ненція льна регр.
D_p	14567,9	10554	10514	14247	15915	12991	11752	15915
$\bar{A}_p, \%$	17,38	12,59	12,68	16,21	17,81	15,90	14,38	17,81
r_p, ρ_p	0,577	0,719	0,720	0,590	0,521	0,637	0,680	0,521
R^2	0,333	0,517	0,519	0,348	0,271	0,405	0,462	0,271

Таблиця 3.8 - Розрахункові значення електроспоживання для різних видів регресії при параметрі t

$t, ^\circ\text{C}$	Лінійна регр. $P_{\text{розр.}i}$	Квадра тична регр. $P_{\text{розр.}i}$	Кубіч на регр. $P_{\text{розр.}i}$	Степе нева регр. $P_{\text{розр.}i}$	Показ никова регр. $P_{\text{розр.}i}$	Логар ифміч на регр. $P_{\text{розр.}i}$	Гіперб олічна регр. $P_{\text{розр.}i}$	Експо ненція льна регр. $P_{\text{розр.}i}$
11,0	665,90	678,32	730,45	655,48	648,01	671,70	679,16	648,07
11,0	665,90	678,32	730,45	655,48	648,01	671,70	679,16	648,07
11,0	665,90	678,32	730,45	655,48	648,01	671,70	679,16	648,07
13,0	661,96	666,25	651,95	647,52	643,86	664,51	666,91	643,94
13,0	661,96	666,25	651,95	647,52	643,86	664,51	666,91	643,94
13,0	661,96	666,25	651,95	647,52	643,86	664,51	666,91	643,94
13,0	661,96	666,25	651,95	647,52	643,86	664,51	666,91	643,94
14,0	659,99	660,94	628,66	644,03	641,80	661,31	662,09	641,88
14,0	659,99	660,94	628,66	644,03	641,80	661,31	662,09	641,88
14,0	659,99	660,94	628,66	644,03	641,80	661,31	662,09	641,88
14,0	659,99	660,94	628,66	644,03	641,80	661,31	662,09	641,88
18,0	652,12	644,50	612,43	632,30	633,63	650,48	648,18	633,72
18,0	652,12	644,50	612,43	632,30	633,63	650,48	648,18	633,72
18,0	652,12	644,50	612,43	632,30	633,63	650,48	648,18	633,72
20,0	648,19	639,16	632,80	627,45	629,58	645,95	643,32	629,67
20,0	648,19	639,16	632,80	627,45	629,58	645,95	643,32	629,67
20,0	648,19	639,16	632,80	627,45	629,58	645,95	643,32	629,67
20,0	648,19	639,16	632,80	627,45	629,58	645,95	643,32	629,67
20,0	648,19	639,16	632,80	627,45	629,58	645,95	643,32	629,67
22,0	644,25	635,75	658,71	623,09	625,56	641,84	639,33	625,66
22,0	644,25	635,75	658,71	623,09	625,56	641,84	639,33	625,66
23,0	642,28	634,76	670,58	621,07	623,56	639,92	637,60	623,66

Продовження таблиці 3.8

23,0	642,28	634,76	670,58	621,07	623,56	639,92	637,60	623,66
23,0	642,28	634,76	670,58	621,07	623,56	639,92	637,60	623,66
23,0	642,28	634,76	670,58	621,07	623,56	639,92	637,60	623,66
27,0	634,41	635,62	681,38	613,84	615,61	633,01	631,96	615,72
28,0	632,44	637,04	668,60	612,21	613,64	631,45	630,80	613,76
30,0	628,51	641,31	615,62	609,13	609,72	628,48	628,71	609,84
30,0	628,51	641,31	615,62	609,13	609,72	628,48	628,71	609,84
30,0	628,51	641,31	615,62	609,13	609,72	628,48	628,71	609,84
30,0	628,51	641,31	615,62	609,13	609,72	628,48	628,71	609,84
$a_0=$	687,54	779,04	2344,2	781,06	671,26	775,02	599,50	6,509
$a_1=$	-1,968	-11,80	-267,7	-0,073	0,996	-43,09	876,26	-0,003
$a_2=$		0,240	13,315					
$a_3=$			-0,21					

Таблиця 3.9 – Визначення виду базового рівня при параметрі t

	Лінійна регр.	Квадра тична регр.	Кубіч на регр.	Степе нева регр.	Показ никова регр.	Логар ифміч на регр.	Гіперб олічна регр.	Експо ненція льна регр.
D_t	21694	21622	20677	21983	22044	21647	21581	22041
$\bar{A}_t, \%$	22,17	22,02	20,90	21,96	22,02	22,10	22,01	22,02
r_b, ρ_t	0,082	0,100	0,231	-	-	0,094	0,109	-
R^2	0,007	0,010	0,053	-	-	0,009	0,012	-

Аналогічно отримано залежності споживання електричної енергії від тиску та температури повітря, що мають наступний вигляд: $P(p)=5,38 \cdot p^3 - 112,4 \cdot p^2 + 723,3 \cdot p - 707,1$ та $P(t)=-0,21 \cdot t^3 + 13,32 \cdot t^2 - 267,71 \cdot t + 2344,2$. При цьому похибка апроксимації в першому випадку становить $A_p = 12,68\%$, а індекс

кореляції $r_p = 0,72$. Для параметру t ці значення дорівнюють $A_t = 20,9\%$ та $r_t = 0,23$ відповідно.

Після проведення кореляційного аналізу бачимо, що залежність між температурою повітря та споживанням електричної енергії низька ($r \leq 0,7$), тому в подальшій роботі цей параметр не враховується.

Оскільки метою є побудова багатфакторної моделі, то вводимо розраховані залежності електричної потужності від інших розглянутих вище факторів до багатфакторної моделі $P(L,p) = a_0 + b_1 \cdot L + b_2 \cdot p$. За методом найменших квадратів отримаємо багатфакторне рівняння вигляду $P(L,p) = 239,48 + 0,0585 \cdot L - 6,69 \cdot p$, при цьому індекс багатфакторної кореляції складає $r_{p,L} = 0,776$.

3.3 Приклад моніторингу енергоефективності для системи стисненого повітря

Наступним етапом є проведення оцінки адекватності отриманої залежності за допомогою F -критерія Фішера. Для цього висуваємо гіпотезу H_0 про неадекватність моделі та порівнюємо значення F_{tabl} (критичне значення при обраному рівні значимості отримуємо за допомогою таблиць розподілу і дорівнює $F_{tabl}(2;28;0,05) = 4,2$) та F_{fact} , що обчислюється за формулою (2.28):

$$F_{fact} = \frac{0,603}{1 - 0,603} \cdot \frac{31 - 2 - 1}{2} = 21,22.$$

$F_{tabl} < F_{fact}$, тому гіпотеза H_0 відхиляється і визнається статистична значимість та надійність досліджуваної залежності. Тому отримане рівняння можна використовувати як базову лінію енергоспоживання.

Для оцінювання можливості впровадження енергозберігаючих заходів потрібно переконатися, що процес стабільний. Для цього побудуємо контрольну карту Шухарта (рис. 3.5), оскільки вона дає можливість візуально

визначити момент зміни процесу, створює основу для його поліпшення, виявляє відмінності між випадковими і системними порушеннями в процесі.

Тоді за формулою (2.31) верхня (ВКМ) і нижня (НКМ) контрольні межі дорівнюють:

$$\text{ВКМ(НКМ)} = 0 - 1,769 \cdot 2,659 = -4,7 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

$$\text{ВКМ} = \Delta X_{\text{сер}} + \sigma_{\Delta X} A_3 = 0 + 1,769 \cdot 2,659 = 4,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

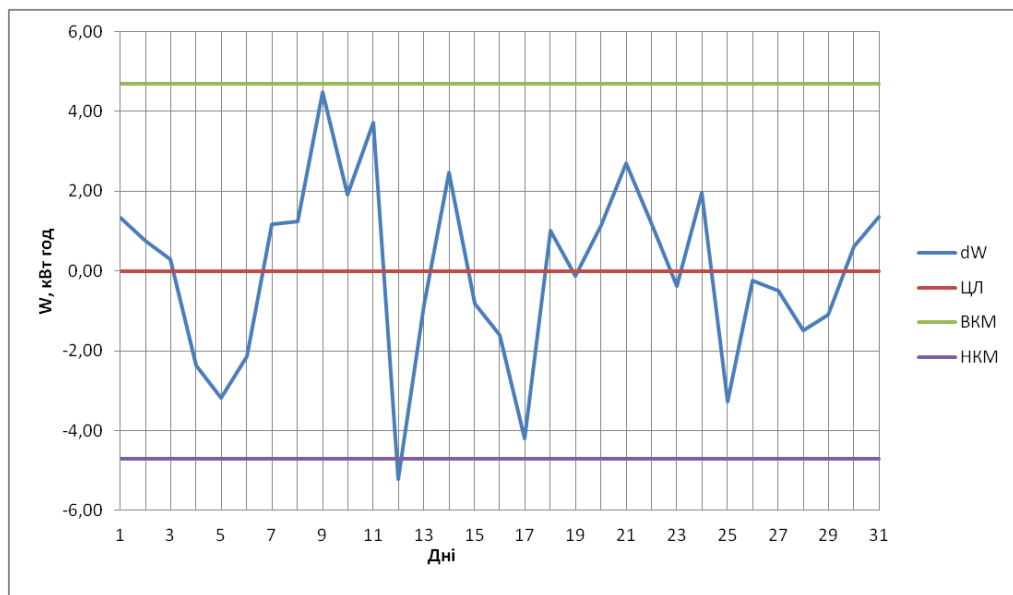


Рисунок 3.5– Контрольна карта середніх значень відхилень фактичного обсягу використання електроенергії відносно базового рівня

Контрольна карта відображає одиничний випадок виходу показника за контрольні межі, а середні значення відхилень коливаються відносно цільової лінії тому процес є стабільним, а базовий рівень - надійним.

Для останньої перевірки скористаємося графіком *CUSUM*. Для його побудови спочатку потрібно визначити величину відхилень фактичного обсягу споживання електричної енергії відносно розрахованого значення за допомогою базового рівня для кожного *i*-інтервалу часу:

$$\Delta W_i = W_{\text{факт.}i} - W_{\text{розр.}i} \quad (3.3)$$

де $W_{\text{факт.}i}$ – фактичний обсяг споживання електричної енергії за відповідний період, кВт·год;

$W_{\text{смі}}$ – розрахований обсяг споживання електричної енергії за допомогою встановленого базового рівня протягом відповідного періоду, кВт·год;

Значення кумулятивної суми відхилення фактичного споживання електроенергії на k -му кроці контролю від базового значення розраховується за наступною формулою:

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k \quad (3.4)$$

де $\Delta W_{\Sigma k-1}$ – сумарне відхилення споживання енергії від його встановлених значень за допомогою базового рівня протягом попередніх $k-1$ періодів, кВт·год;

ΔW_k – від його встановлених значень за допомогою базового рівня на k -му кроці контролю, кВт·год.

Тоді за формулою (3.3) обчислимо відхилення за 1-й день:

$$\Delta W_i = 17,51 - 16,17 = 1,34 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для інших днів розрахуємо аналогічно, результати занесемо у табл.3.10.

За отриманими графіками побудуємо графік *CUSUM* (рис. 3.6)

В даному випадку графік накопиченої суми відхилень не виходить за контрольні межі V -маски. Це свідчить про те, що процес є контрольованим та стабільним а базовий рівень – надійним.

Таблиця 3.10 – Результати відхилення фактичного споживання електроенергії від базового значення

№,п/п	$W_{факт}$	$W_{розра}$	ΔW_i	$\Delta W_{\Sigma k}$
1	17,51	16,17	1,34	1,34
2	18,01	17,25	0,75	2,09
3	17,77	17,47	0,30	2,39
4	13,10	15,46	-2,37	0,03
5	10,63	13,80	-3,17	-3,14
6	12,28	14,42	-2,13	-5,28
7	15,81	14,64	1,17	-4,11
8	18,97	17,73	1,24	-2,87
9	18,89	14,41	4,49	1,62
10	19,81	17,90	1,91	3,53
11	18,68	14,95	3,73	7,26
12	12,60	17,82	-5,22	2,04
13	14,16	15,00	-0,83	1,21
14	17,99	15,53	2,46	3,67
15	16,20	17,01	-0,81	2,86
16	17,39	18,99	-1,60	1,26
17	17,61	21,81	-4,20	-2,94
18	19,32	18,30	1,01	-1,93
19	17,44	17,56	-0,12	-2,05
20	18,90	17,76	1,15	-0,91
21	21,80	19,09	2,71	1,81
22	18,60	17,37	1,22	3,03
23	16,37	16,75	-0,37	2,66
24	15,18	13,21	1,97	4,62
25	7,81	11,10	-3,28	1,34
26	10,51	10,74	-0,23	1,11
27	10,59	11,08	-0,49	0,62
28	10,30	11,79	-1,49	-0,87
29	10,89	11,98	-1,09	-1,96
30	12,58	11,97	0,61	-1,35
31	15,21	13,86	1,35	0,00

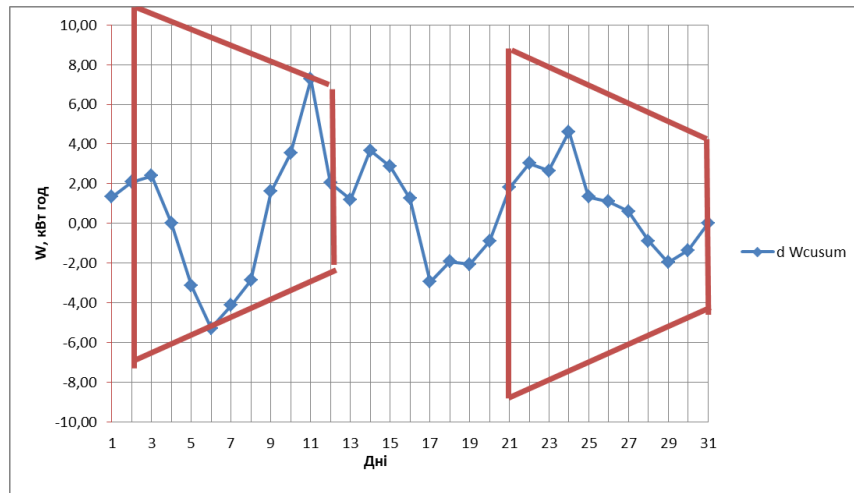


Рисунок 3.6 – Контрольна карта *CUSUM* із застосуванням V-маски

Маючи параметри технологічного процесу за наступний звітний період після проведення енергозберігаючих заходів, було отримано розрахункові значення, використовуючи багатфакторну регресію.

Для аналізу отриманих даних визначимо довірчий інтервал за допомогою критерія Стюдента при ймовірності $p=0,95$ (рис. 3.7).

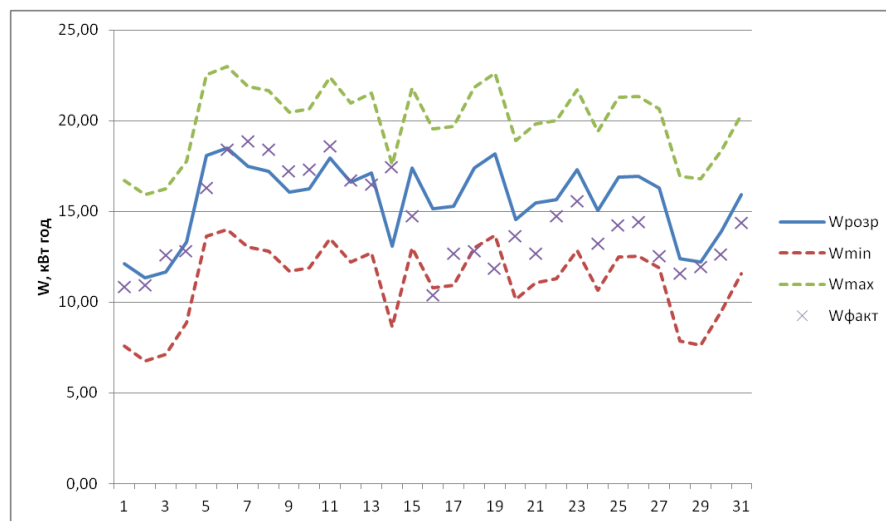


Рисунок 3.7 – Границі довірчого інтервалу для базового споживання та фактичне споживання електроенергії після впровадження заходів

Проаналізувавши графік, бачимо, що фактичні дані протягом першої половини місяця майже не відрізняються від базового споживання, потім

спостерігається зниження цього параметру. Проте лише 2 точки опустилися нижче довірчого інтервалу, тому подальшого аналізу скористаємося графіком *CUSUM* (рис. 3.8). Він показує суму відхилень даних від встановленого опорного значення.

Тоді за формулою (3.3) обчислимо відхилення за 1-й день:

$$\Delta W_i = 10,86 - 12,13 = -1,27 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для інших днів розрахуємо аналогічно, результати занесемо у табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Результати відхилення фактичного споживання електроенергії від базового значення після впровадження заходів з енергоефективності

№,п/п	$W_{\text{факт}}$	$W_{\text{розр}}$	ΔW_i	$\Delta W_{\Sigma k}$
1	10,86	12,13	-1,27	-1,27
2	10,92	11,34	-0,42	-1,70
3	12,58	11,68	0,91	-0,79
4	12,80	13,33	-0,53	-1,32
5	16,31	18,08	-1,77	-3,09
6	18,40	18,48	-0,09	-3,17
7	18,88	17,47	1,41	-1,76
8	18,39	17,22	1,18	-0,58
9	17,21	16,08	1,12	0,54
10	17,31	16,25	1,06	1,60
11	18,57	17,94	0,63	2,23
12	16,70	16,59	0,10	2,33
13	16,47	17,11	-0,65	1,69
14	17,43	13,10	4,32	6,01
15	14,72	17,39	-2,67	3,34
16	10,40	15,16	-4,76	-1,43
17	12,67	15,30	-2,62	-4,05
18	12,83	17,40	-4,58	-8,63
19	11,87	18,16	-6,29	-14,92

Продовження таблиці 3.11

20	13,64	14,53	-0,89	-15,81
21	12,67	15,45	-2,78	-18,59
22	14,72	15,64	-0,93	-19,52
23	15,58	17,28	-1,70	-21,21
24	13,21	15,04	-1,83	-23,04
25	14,22	16,88	-2,67	-25,71
26	14,44	16,93	-2,49	-28,20
27	12,52	16,28	-3,76	-31,96
28	11,60	12,39	-0,80	-32,76
29	11,96	12,21	-0,25	-33,01
30	12,62	13,93	-1,31	-34,32
31	14,38	15,93	-1,55	-35,87

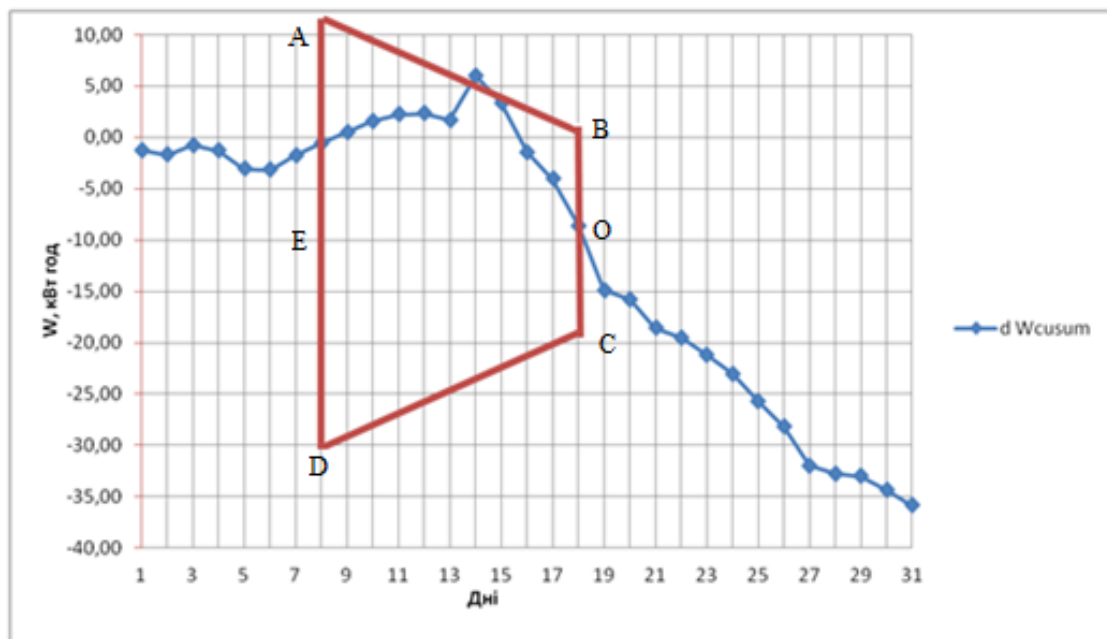


Рисунок 3.8– Контрольна карта *CUSUM* із застосуванням V-маски для визначення ефективності впровадження заходів

Будь-які зміни середнього відхилення і ступінь цих змін представлені візуально за допомогою кута нахилу графіка даних. Горизонтальний графік (1-13 дні) вказує на відповідність середнього процесу опорного значенням. 14 день характеризувався налагоджувальними роботами по впровадженню енергозберігаючих заходів, тому спостерігається підвищення графіку. Нахил

графіка вниз (15-31 дні) вказує на те, що відбувалося зниження енергоспоживання. Чим більше кут нахилу, тим істотніше розбіжність.

Також на рис. 3.8 показана усічена V-маска в реальному масштабі для контрольованої характеристики процесу. Тут використано стандартне відхилення, а не стандартна похибка, оскільки дана маска розроблена для контролю окремих спостережень, а не середнього значення.

Вихід фактичного споживання за межі V-маски вказує на те, що у процесі роботи системи стисненого повітря відбулися зміни, що були спричинені енергозберігаючими заходами.

Висновки до розділу 3

Промисловість більше, ніж будь-який інший сектор, зацікавлена у зменшенні споживання енергії, оскільки високі енергетичні витрати стали ключовим економічним фактором. Енергоефективність представляє для неї величезні можливості, такі як зменшення витрат, стимулювання економічного зростання, підвищення продуктивності праці та значне зменшення впливу на навколишнє середовище.

В цьому розділі було побудовано базові рівні енергоспоживання системою стисненого повітря, використовуючи одно- та багатofакторний регресійний аналіз, при цьому було досліджено характер і вигляд залежності змінних від споживання енергії, оцінено адекватність отриманої залежності за допомогою F-критерія Фішера.

Для визначення невинпадковості виконання цільових змін було використано контрольні карти Шухарта, а за допомогою CUSUM-карт визначено ефективність впровадження енергозберігаючих заходів у технологічних процесах підприємства.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

При вирішенні багатьох завдань, пов'язаних з промисловим моніторингом, побудовою системи «розумний будинок», системи розподіленого збору інформації, актуальними стають бездротові мережі зв'язку.

Ідея проекту полягає у створенні апаратної частини (зчитування даних і відправка) та програмного забезпечення (ПЗ), яке приймає запити з даними від пристрою, зберігає їх, а також аналізує в режимі реального часу.

Для цілісного уявлення про проект зміст ідеї представимо за допомогою таблиці 4.1.

Таблиця 4.1– Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення апаратної частини та програмного забезпечення для системи моніторингу енергоспоживання	<ul style="list-style-type: none"> - зчитування даних і відправка на сервер; - автоматичне аналізування даних в режимі онлайн; - сповіщення про порушення технологічного процесу. 	<ul style="list-style-type: none"> - контроль над споживанням енергії; - підвищення конкурентоспроможності на ринку за рахунок зменшення собівартості; - предиктивне обслуговування обладнання.

Ідея полягає в постійному моніторингу енергоспоживання, що дозволить після впровадження енергозберігаючих заходів дослідити їх ефективність. А після встановлення нової базової лінії продовжити

слідкувати за показниками, з метою пошуку тієї точки часу, в якій вони починають падати. Це свідчить про зношеність окремих частин обладнання.

В основі даної ідеї закладено поняття «інтелектуального обслуговування», суть якого - у постійній або інтервальній оцінці технічного стану обладнання. При такому підході кінцевим результатом є технічне обслуговування в той момент, коли це найбільш рентабельно. Виконуючи ремонти за календарем, не враховуються технічні особливості окремого обладнання, що залежить від чинників, вплив яких неможливо проаналізувати. Сьогодні всі компанії і підприємства йдуть до того, щоб удосконалювати спосіб обслуговування обладнання на підставі прогнозу.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту представлено за допомогою таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення апаратної частини	Мова програмування Java	Є в наявності	Доступна
2	та програмного забезпечення для	Мова програмування Javascript	Є в наявності	Доступна
3	системи моніторингу	Мови програмування Python	Є в наявності	Доступна
4	енергоспоживання	Мова програмування C++	Є в наявності	Доступна
5		Мова програмування C#	Є в наявності	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: мова програмування C#				

Оскільки в C# є можливість розробки як десктопних, так і мобільних версій програмного забезпечення, а також обробка великої кількості даних, то для написання програмного коду обрано цю мову.

Що стосується апаратної частини, то вузол бездротової сенсорної мережі містить датчик, що сприймає дані від зовнішнього середовища, мікроконтролер, пам'ять, радіо-приймач, автономне чи стаціонарне джерело живлення.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для визначення майбутнього напрямку розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища та потреб потенційних клієнтів необхідно дослідити ринкові загрози та можливості (табл. 4.3 та 4.4 відповідно), а також провести характеристику потенційних клієнтів (табл. 4.5).

Таблиця 4.3 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1. Помилки коду	Виявлення помилок у написанні коду під часу експлуатації товару споживачем	Застосування бонусів для споживачів як тестувальників програми
2. Конкуренція	Вихід на ринок продукту з аналогічними властивостями	Підвищення якості продукції при незмінній ціні; зменшення ціни при незмінній якості; застосування маркетингової реклами.

Таблиця 4.4 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Вдосконалення ПЗ	Виправлення багів у кодї та оновлення ПЗ	Можливість оновлення ПЗ, автоматичне оновлення при важливих змінах у версії програми
Зростання тарифу	Зростання цін за користування енергоресурсами	Рекламування товару, враховуючи економічну ситуацію на ринку

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Вимоги споживачів до товару
Потреба у ефективнішому споживанні енергії, проведенні передктивного ремонту	Малі та великі підприємства	Своєчасне та якісне надання послуг, простота інтерфейсу, онлайн-підтримка, постійне виведення економічних і технічних характеристик процесу

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження даного проекту є складання SWOT-аналізу (табл. 4.6). Розрізняють такі типи SWOT-аналізу:

1. експрес - застосовується повсюдно в бізнесі для виявлення сильних та слабких сторін. Головний акцент в цьому виді робиться на існуючих перевагах та можливостях поліпшення внутрішніх факторів, які будуть

успішно протистояти впливу ззовні. Головний плюс, який дає експрес-SWOT-аналіз полягає в наочності бізнес-характеристик;

2. зведений - оперує основними показниками діяльності компанії на конкретний момент часу і на майбутній період. Він дозволяє отримати більш точні кількісні значення факторів стратегічного аналізу. Перевагою цього виду є негайний перехід від досліджень до розробки стратегії розвитку бізнесу, а недоліком - складність проведення;

3. змішаний - цей варіант поєднує в собі характеристики як експрес, так і зведеного типу. Алгоритм передбачає проведення щонайменше трьох стратегічних досліджень, при цьому кількісна оцінка не виконується. Головною перевагою є глибина опрацювання.

Таблиця 4.6 – SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - наявність тренду на підвищення енергоефективності - постійна онлайн-підтримка ПЗ; 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вимагає наявності мереж бездротового зв'язку; - вимагає внесення індивідуальних частин коду в залежності від технічного обладнання, що споживає ресурси
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - зростання тарифу; - постійне вдосконалення ПЗ; 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - конкуренція; - низький попит на програмне забезпечення; - складне політичне та економічне становище в країні; - помилки при написанні коду

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Наступним етапом є визначення стратегії, за допомогою якої відбуватиметься входження у ринок. Для цього проведемо вибір цільових груп потенційних клієнтів (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Великі промислові підприємства	Повна готовність	Високий	Висока	Важко
Малі промислові підприємства	Повна готовність	Середній	Трохи нижче середнього	Відносно просто

Хоча попит присутній в усіх розглянутих цільових групах, а запропоноване ПЗ є відносно універсальним продуктом, але висока конкуренція в межах цільової групи великих промислових підприємств та складність написання коду створюють перешкоди для входу у даний сегмент.

Тому обираємо стратегію концентрованого маркетингу, при якій проект зосереджується лише на одному сегменті.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Завершальним етапом є формування маркетингової концепції кінцевого продукту, який отримує потенційний клієнт. Для цього зведемо результати аналізу конкурентоспроможності товару у табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі, або такі, що потрібно створити)
Надійність та безпека	Особистий вхід у кабінет користувача	Вхід у систему як індивідуальний користувач, зберігання даних на окремому хмарному сховищі для кожного клієнта
Підтримка та оновлення	Необхідне оновлення та модифікація ПЗ	Виправлення несправностей та багів, надання бонусів за виявлення недоліків програми
Повнота та достовірність даних	Інформація записується без коригування даних з малим інтервалом часу	Достовірність даних, постійний моніторинг енергоефективності

Для поширення товару серед користувачів обираємо концепцію маркетингової комунікації, яка дозволить збільшувати поінформованість потенційних споживачів про переваги даної ідеї вцілому та запропоновано продукту.

Висновки до розділу 4

В даному розділі було запропоновано стартап-проект, що полягає у створенні апаратної частини (зчитування даних енергоспоживання і відправка) та програмного забезпечення, яке приймає запити з даними від пристрою, зберігає їх, а також аналізує в режимі реального часу.

Ідея полягає в постійному моніторингу енергоспоживання, що дозволить після впровадження енергозберігаючих заходів дослідити їх ефективність. А після встановлення нової базової лінії продовжити слідкувати за показниками, з метою пошуку тієї точки часу, в якій вони починають падати.

При проведенні аналізу ринкових можливостей стартап-проекту було з'ясовано, що загрозами можуть бути виявлення помилок у написанні коду під часу експлуатації товару споживачем та вихід на ринок аналогічного продукту.

Для усунення загроз потрібно проводити підвищення якості товару при незмінній ціні або зменшення ціни при незмінній якості продукції, застосовувати реклами, впроваджувати бонусну програму за виявлення недоліків програмного забезпечення.

Дослідження показало, що попит присутній в усіх розглянутих цільових групах, а запропоноване ПЗ є відносно універсальним продуктом, але висока конкуренція в межах цільової групи великих промислових підприємств та складність написання коду створюють перешкоди для входу у даний сегмент. Тому було обрано стратегію концентрованого маркетингу, при якій проект зосереджується лише на одному сегменті.

Аналіз підтвердив, що наявність входу у систему як індивідуальний користувач, зберігання даних на окремому хмарному сховищі для кожного клієнта, постійна підтримка проекту в режимі онлайн, виправлення недоліків дає можливість бути комерційно привабливим для потенційних користувачів даного продукту.

ВИСНОВКИ

1. Промисловість більше, ніж будь-який інший сектор, зацікавлена у зменшенні споживання енергії, оскільки високі енергетичні витрати стали ключовим економічним фактором. Енергоефективність представляє для неї величезні можливості, такі як зменшення витрат, стимулювання економічного зростання, підвищення продуктивності праці та значне зменшення впливу на навколишнє середовище.

2. В результаті дослідження було виявлено, що протягом тривалого часу промислово розвинені країни прагнуть створити умови для підвищення ефективності використання енергії, і на цьому шляху вже вдалося домогтися значних успіхів. В першому розділі магістерської дисертації було розглянуто розвиток стандартів з енергоефективності країнами світу та проаналізовано досвід України в напрямку підвищення енергоефективності на підприємствах.

3. Розглянуто методику побудови базових рівнів енергоспоживання. Цей базовий рівень є нормою, за якою проводиться аналіз, тому він повинен базуватися на даних періоду, коли рівень виробництва та споживання енергії є відносно нормальними.

4. Досліджено основні види регресій, що можуть використовуватися при визначенні базового рівня. Вибір виду функціональної залежності доцільно проводити ймовірно статистичним методом за допомогою кореляційного аналізу. В результаті проведення такого аналізу визначається вид функції, за допомогою якої найбільш якісно описується залежність між параметрами енергоспоживання і зовнішнім впливаючим чинником.

5. Для аналізу ефективності провадження заходів з енергоефективності було розглянуто контрольні карти Шухарта (ККШ) та графіки *CUSUM* із застосуванням V-масок.

6. Побудовано базові рівні енергоспоживання системою стисненого повітря, використовуючи одно- та багатофакторний регресійний аналіз, при

цьому було досліджено характер і вигляд залежності змінних від споживання енергії, оцінено адекватність отриманої залежності за допомогою F -критерія Фішера.

7. Для визначення невинновості виконання цільових змін було використано контрольні карти Шухарта, а за допомогою *CUSUM*-карт визначено ефективність впровадження енергозберігаючих заходів у технологічних процесах підприємства.

8. Розроблено стартап-проект, що полягає у створенні апаратної частини (зчитування даних енергоспоживання і відправка) та програмного забезпечення, яке приймає запити з даними від пристрою, зберігає їх, а також аналізує в режимі реального часу. Ідея полягає в постійному моніторингу енергоспоживання, що дозволить після впровадження енергозберігаючих заходів дослідити їх ефективність. А після встановлення нової базової лінії продовжити слідкувати за показниками, з метою пошуку тієї точки часу, в якій вони починають падати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергозбереження» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>.
2. Праховник, А. В., Находов, В. Ф., Бориченко, О. В.. Контроль ефективності енерговикористання–ключова проблема управління енергозбереженням. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2009, (8), 41-54.
3. Кротевич М.; Карвацка, Н. Управління енергетичною ефективністю промислових підприємств. Матеріали конференцій МЦНД, 2020, 47-54.
4. Денисюк, С. П., О. В. Бориченко, Е. В. Бориченко. "Теоретичні основи побудови систем енергетичного менеджменту в Україні." (2015).
5. ISO/IEC Guide 2:2004 Standardization and related activities -- General vocabulary
6. AS 3595-1990 Energy management programs - guidelines for financial evaluation of a project standard by standards Australia, 01/01/1990
7. Danish Standards [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://webshop.ds.dk/engb/standard/ds-24032001>.
8. Swedish Institute for Standards [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sis.se/en/produkter/management-system/energymanagement-systems/ss627750/>.
9. ISO 50001:2018 Energy management systems [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iso.org/ru/iso-50001-energy-management.html>.
10. Ефективність від контролем [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://gisee.ru/articles/arrangements/40847/>.
11. Н. Glavaš, "Sustainable energy performance improvements policy in Croatian industry with implementation of ISO 50001 energy management system," International conference Sustainable Development Today - Interaction of science

and economy in Japan and Croatia, PANON - think tank for strategic studies, Osijek - Vinkovci, 17th-19th September 2018

12. The ISO survey [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iso.org/the-iso-survey.html>

13. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://saee.gov.ua/uk>.

14. H. Glavaš, "Energy Management Systems - EnMS ISO 5000X: 2011 - 2018", Cross-Border Conference Within the Framework of the Project Suech, Osijek, Hrvatska, 07. March 2018

15. Денисенко, Л. О., Малогловец Р. Л.. "Система енергетичного менеджменту як основа ефективного управління енергоспоживанням." Формирование рыночных отношений в Украине 3 (154) (2014).

16. Жемчугов, А. М., Жемчугов, М. К. (2016). Цикл PDCA Деминга. Современное развитие. Проблемы экономики и менеджмента, 2016, 2 (54).

17. Уотерс Д. Логистика. Управление цепью поставок / пер. с англ. М.: Юнити-Дана, 2003. 503 с

18. Материалы проекта «Усиление действий по подготовке энергоменеджеров в Украине» по программе TACIS № EUK 9701. – К. :ІЕЕ НТУУ «КПІ», 1999. – 156 с.

19. Monitoring and Targeting in large companies // Energy Efficiency Enquiries Bureau, ETSU, Harwell, Oxfordshire, OX11. Good Practice Guide 112. – 1998. – 45p.

20. Праховник А. В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням / А. В. Праховник, В. Ф. Находов, О. В. Бориченко // Енергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. – № 8 (66). – С. 41–54.

21. Щелоков Я. М. Энергетический анализ хозяйственной деятельности. Екатеринбург: УрФУ. 2010. 390 с.

22. Карнажук Т.Р., Бориченко О.В., Моніторинг ефективності впровадження енергозберігаючих заходів. XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина»; 7-8 травня 2020; м. Київ; С. 167-171.
23. Находов В.Ф., Бориченко О.В., Іванько Д.О. Контроль ефективності енерговикористання в системі енергетичного менеджменту // Вісник КНУТД. – 2013. - №6. – С. 67-77.
24. Находов В.Ф. Проблема контролю ефективності енерговикористання – основа практичного вирішення задач енергозбереження / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко// Енергозбереження, екологія, ефективність: шляхи зниження енергозалежності України: міжнар. конф., 14 травня 2008 р.: тези доп. – К.: – 2008. – С. 55-57.
25. Замулко, А. І.; Бедерак, Я. С. Комплексний статистичний аналіз даних споживання активної електроенергії, витрат енергоресурсів та обсягів виробництва продукції. 2014.
26. Сафьянц, Сергей Матвеевич, Алексей Борисович Бирюков, and Артем Сергеевич Сафьянц. "Создание методики определения линий энергопотребления предприятия." (2016).
27. Находов, В. Ф., Бориченко, О. В., & Іванько, Д. О. (2014). Вибір математичної моделі для встановлення стандартів” енергоспоживання виробничих об’єктів на основі багатокритеріального підходу. Наукові вісті Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут, (1), 20-28.
28. Комарова, Г. Л., Волошина, Л. В. Основи метрологічного забезпечення. 2020
29. Мироненко, Є. В., Шашко В. О., Трембач І. О. "Підвищення енергетичної ефективності підприємства шляхом впровадження міжнародного стандарту ISO 50001." Наука и инновации в современном мире: менеджмент и юриспруденция. 2019. 62-80.
30. Бедратюк, Г. І., Кисіль, Т. М. Використання інтерактивного середовища Matlab для розв’язання задач оптимізації. 2018

31. Кундрат, А. М., Кундрат, М. М. (2014). Науково-технічні обчислення засобами MathCAD та MS Excel.
32. Бойко, Т., Столярчук П. "Система енергоуправління в Україні: перспективи та особливості нормування." Стандартизація. Сертифікація. Якість 4 (2013): 38-46.
33. Кротевиц, М., Карвацка, Н. (2020). Управління енергетичною ефективністю промислових підприємств. Матеріали конференцій МЦНД, 47-54.
34. Находов В.Ф. Застосування методів самоорганізації математичних моделей енергоспоживання для встановлення «стандартів» в системах оперативного контролю енергоефективності [Текст] / В.Ф. Находов, І.В. Стеценко, Я.С. Бедерак // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 5(99). – С. 23-33.
35. Энергоаудит у системі енергоменеджменту підприємства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://vuzlib.com.ua/articles/book/27043-Energoaudit_u_sistem%D1%96_energom/1.html
36. Mitrofanov, A. N., Tret'yakov G. M, and. Kopeikin S. V. "Predicting the energy-supply parameters for a transportation process based on multifactor models." Russian Electrical Engineering 88.3 (2017): 109-114.
37. Данілкива, А. Ю. "Механізм впровадження системи енергетичного менеджменту на промислових підприємствах." Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство 8 (1) (2016): 58-61.
38. Аналітичні форми рівнянь регресії [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/5591396/page:20/>.
39. Метод найменших квадратів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/zhukov_n_n/МС_5-6.pdf.
40. Карабин, О. О., & Чмир, О. Ю. Викладання багатофакторного кореляційного аналізу з використанням інформаційно-комунікаційних

технологій. Вісник львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 2016, 13: 181-190.

41. Прокопович, С. В.; Чернова, Н. Л.; Чаговець, Л. О. Методи оптимізації та дослідження операцій: робоча програма навчальної дисципліни для студентів спеціальності 124

42. Находов, В. Ф., Бориченко, О. В., Іванько, Д. О., Аданіков, О. В., Федорчук, І. І. Універсальна процедура контролю виконання встановлених цільових змінних як інструмент підвищення рівня енергоефективності промислових об'єктів. Збірник матеріалів конференції: "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку–PEMS", 2017.

43. Матковський, П. Є. "Особливості методів статистичного контролю на підприємствах." Вісник Прикарпатського університету. Серія: Економіка 11 (2015): 149-153.

44. ДСТУ ISO/TR 7871:2004 Статистичний контроль. Контрольні карти кумулятивних сум. Настанови щодо контролю якості та аналізу даних з використанням методик CUSUM (ISO 7871:1997, IDT).

45. Володарський, Є. Т., Добролюбова, М. В., Клевцова, М. О. Аналіз чутливості контрольних карт Шухарта. Інформаційні системи, механіка та керування, 2017. 17, 51-60

46. ДСТУ ISO 8258-2001 Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта (ISO 8258:1991, IDT).

47. Гордійчук, Д. Контрольні карти шухарта. 2019. PhD Thesis. ВНТУ.

48. Гальчук, Т. Н. (2017). Комп'ютерна обробка статичних даних контролю точності виробів машинобудування. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2017, 26, 42-47.

49. Є. Володарський. Особливості, можливості та застосування контрольних карт накопичувальних сум. Частина 1. Метод графічного оцінювання розладнання технологічного процесу / Є. Володарський, Л. Кошева, І. Потоцький. // Метрологія та приладобудування. – 2019. –№1.

50. Карнажук Т.Р., Бориченко О.В., Моніторинг ефективності впровадження заходів з енергоефективності в системі стисненого повітря. III Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ, 26-27 листопада 2020, м. Київ.

51. Степанов С. И., Митрофанова И. В. Повышение энергетической эффективности систем снабжения промышленных предприятий сжатым воздухом //Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2019. – Т. 16. – №. 3.